

**Міністерство освіти і науки України**  
**Одеська національна морська академія**



**Одеське відділення Інституту морської техніки, науки і технології Великобританії  
(IMarEST)**

## **МАТЕРІАЛИ**

**науково-методичної конференції**

**"АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ І РАДІОТЕХНІКИ"**

**10.12. 2014 – 11.12. 2014**



**Одеса – 2015**

У збірнику матеріалах конференції розміщено тези доповідей, які заслуховувались на пленарних та секційних засіданнях науково-методичної конференції "Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки", що відбулась 10-11 грудня 2014 року в Одеській національній морській академії. Тематика конференції охоплювала наступні науково-методичні напрямки: електрозбереження в суднової енергетиці, технічна експлуатація сучасного електрообладнання та систем управління суден, загальні підходи до оптимізації радіоелектронних пристроїв та систем.

Матеріали науково-методичної конференції "Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки", 10.12.2014 – 11.12.2014. – Одеса: ОНМА, 2015. – 142 с.

Матеріали публікуються згідно рішення Вченої Ради факультету електромеханіки та радіоелектроніки (протокол № 5 від 26.01.2015р.) та згідно з поданими авторами оригіналами, які є відповідальними за їх зміст.

Організатори:  
Факультет електромеханіки та радіоелектроніки  
Одеської національної морської академії  
Одеське відділення Інституту морської техніки, науки і технології  
Великобританії (IMarEST)

## ЗМІСТ

### ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

*В.С. Луковцев*

Значение одесского отделения IMAREST для подготовки судовых специалистов..... 8

*В.А.Голиков, В.Д.Савчук*

Задачи научной деятельности факультета электромеханики и радиоэлектроники по реализации закона Украины «О высшем образовании»..... 9

*С.А.Михайлов*

Итоги реализации программы Международного Союза Электросвязи ITU «Женева – 2006» в Украине..... 12

*В.М. Кошевой*

Итоги работы украинской делегации на 94 сессии КБМ..... 16

*В.В.Будашко, Е.А. Юшков, Д.О.Гончаренко*

Физическое моделирование многофункционального пропульсивного комплекса..... 20

### СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

*В.С. Луковцев, Д.М.Горбачев*

Повышение эффективности комбинированной энергетической установки с электрическими машинами, навешенными на один вал с главным двигателем..... 25

*В.С. Луковцев, О.Р. Фомин*

Повышение быстродействия авторулевого при больших изменениях курса 27

*С.Ф.Самонов, М.В.Ковалева*

Исследование режимов работы электродвигателя якорно-швартового устройства с помощью частотного регулирования..... 29

*І.М.Гвоздева, С.В.Кучмій*

Дослідження аварійних режимів роботи судових електроенергетичних систем..... 33

*И.М.Гвоздева, В.В.Демиров*

Исследование динамических процессов в судовой электроэнергетической системе в условиях асинхронного режима работы синхронного генератора..... 34

<i>В.Г. Донской, А.В. Колос</i>	
Повышение эффективности контроля сопротивления изоляции судовых кабельных трасс.....	36
<i>С.А.Дудко</i>	
Оценка качества системы управления напряжением судовой электроэнергетической установки с УКРМ.....	37
<i>В.В.Будашко, Д.О.Гончаренко</i>	
Моделювання систем управління потужністю і обертаючим моментом підрулюючого пристрою під час позиціонування суден.....	39
<i>В.В.Будашко, И.С.Макаренко</i>	
Повышение эффективности пропульсивного комплекса с винтами противоположного вращения контейнеровоза вместимостью 15000 контейнеров.....	42
<i>В.В.Бушер, С.Е.Цацурин</i>	
Исследование системы управления электроприводами контейнерного перегружателя при совместной работе механизмов.....	43
<i>В.В.Бушер, Д.К. Бичев, М.О. Старенков</i>	
Исследовательский макет причального контейнерного перегружателя с оптимальными законами управления.....	47
<i>А.О. Дранкова, С.С.Міхайков, А.П. Новицький</i>	
Підвищення якості електроенергії суднової електромережі засобами активної фільтрації.....	50
<i>В.С.Петрушин, П.І.Куємжи</i>	
Дослідження гребної електричної установки змінного струму з трьохобмотковим трансформатором гідрографічного судна.....	54
<i>С.С.Павленко</i>	
Пример технической реализации системы динамической компенсации реактивной мощности в судовом електроприводі .....	56
<i>С.Н.Сакалы</i>	
Физика процесса самовозбуждения асинхронного генератора.....	58
<i>В.Г. Донской, Ю.Ю.Бельчев</i>	
Работа рулевой установки в условиях неисправности и анализ их последствий.....	60
<i>Л.В. Вишневский, И.А. Нефёдов</i>	
Исследование режимов включения дизель-генераторов в параллельную работу	63

*А.И.Шестака*  
Методы решения задачи гашения колебаний груза для палубных и береговых кранов..... 64

*О.В.Глазева, В.Б.Власов*  
Современные концепции электродвижения судов..... 70

## **РАДІОТЕХНІКА, РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ ТА ЗВ'ЯЗОК.**

*В.М. Кошевой, И.И.Котляр*  
Оптимизация сигналов и фильтров для случая сигналоподобных помех.... 79

*В.М. Кошевой, И.Я.Горишная*  
Исследование функции неопределенности дискретных сигналов и фильтров 80

*В.М. Кошевой, С.В.Курочкин*  
Вопросы по модернизации ЕКДИС для УКВ радиосвязи..... 82

*В.М.Кошевой, А.В.Полищук*  
Оптимизация обработки аperiodических и периодических дискретных АФМ сигналов..... 84

*В.М. Кошевой, Е.Л.Пашенко*  
Синтез составных многофазных сигналов для работы в периодическом режиме..... 86

*В.М.Кошевой, Е.Л.Пашенко*  
Оптимизация комбинированных сигналов для работы в периодическом режиме..... 89

*В.М. Кошевой, А.Н.Драгич*  
Расчёт и разработка цифрового КИХ - фильтра..... 91

*А.В Шишкин, И.И. Котляр*  
Морские РЛС непрерывного действия..... 93

*В.М. Кошевой, Т.А. Дзюбюк*  
Оптимальная обработка троичных кодовых последовательностей для задач радиолокации и связи..... 95

*В.М.Кошевой, Н.В.Войтова*  
Оптимальная обработка сигналов непрерывных РЛС, позволяющая работать с РЛО..... 97

<i>В.М. Кошевой, М.О. Райнова</i>	
Расчет сигналов для оптимизации корреляционной функции при отсутствии амплитудной модуляции.....	99
<i>В.М. Кошевой, Л.Н. Сукач</i>	
Расчет сигналов для оптимизации корреляционной функции с возможной амплитудной модуляцией сигнала.....	100
<i>В.М. Кошевой, Н.Е. Ортина</i>	
Оптимизация фильтров подавления боковых лепестков взаимной функции неопределенности для сингулярных случаев.....	102
<i>В.М. Кошевой, В.С. Попова</i>	106
Совместная оптимизация сигнала и фильтра по квадратичному критерию...	
<i>В.М. Кошевой, К.Р. Штомпель</i>	108
Оптимизация фильтра в классе дискретной структуры.....	
<i>В.М. Кошевой, А.А. Шеринёва</i>	
Подавление боковых лепестков диаграммы направленности линейной антенной решетки с минимальным числом управляемых элементов.....	109
<i>В.М. Кошевой, А.А. Григус</i>	
Оптимизация сигнала при согласованной обработке в условиях мешающих отражений.....	111
<i>А.В. Шишкин, Д.В. Мельникова</i>	113
Расчет функции неопределенности сложных сигналов в системе MATLAB.....	
<i>А.В. Шишкин, Т.В. Шуляк</i>	
Исследование корреляционных функций M-последовательностей в системе MATLAB.....	115
<i>А.В. Шишкин, А.А. Григус</i>	116
Оптимизация ЛЧМ-сигнала на выходе фильтра сжатия.....	
<i>С.А. Михайлов, Ю.М. Байзан</i>	
Комплексная компьютерная система видеонаблюдения и телевизионной охраны.....	118
<i>С.А. Михайлов, Д.В. Мельникова</i>	120
Информационная безопасность программных и аппаратных средств судовых компьютерных систем.....	

<i>С.А.Михайлов, В.А.Геворгян</i>	
Повышение защищенности систем беспроводного радиодоступа к информационно-телекоммуникационным сетям.....	123
<i>С.А.Михайлов, А.В.Орешкова</i>	
Перспективні принципи організації доставки телевізійного контенту користувачу.....	125
<i>С.А.Михайлов, А.І.Рахнянская</i>	
Електронна радіопроменева система виявлення для охорони периметру та безпеки.....	128
<i>С.А.Михайлов, А.И.Коваль</i>	
Реалізація доступу до мережі інтернет по супутникових каналах радіозв'язку.....	129
<i>С.А.Михайлов, Е.А.Авраменко</i>	
Особенности автоматических идентификационных систем в структуре Речной информационной службы.....	131
<i>В.В. Сергеев, Г.Ю.Писарев</i>	
Оцінка енергетичного потенціалу суднової охоронної РЛС міліметрового діапазону хвиль.....	134
<i>В.А. Завадский, О.И.Дума , И.И.Мустипан</i>	
Компьютерные методы обработки радиосигналов.....	135
<i>В. А. Завадский, Д.А.Захарченко</i>	
Повышение точности компьютерной обработки радиосигналов в системах идентификации.....	137
<i>В.А.Завадский, О.И.Дума</i>	
Сравнительный анализ микроконтроллерной базы систем идентификации...	139
<i>С.Н.Дранчук, Д.С. Салабутина</i>	
Исследование принципов построения и характеристик интегральных преобразователей «напряжение-частота».....	141

## ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

УДК 341.225:378.6:656.61(477.74)

### **ЗНАЧЕНИЕ ОДЕССКОГО ОТДЕЛЕНИЯ IMAREST ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СУДОВИХ СПЕЦИАЛИСТОВ**

В.С.Луковцев, к.т.н., доцент, декан ФЭМиРЭ  
Одесская национальная морская академия

Ежегодные научно-методические конференции на нашем факультете стали уже традиционными, и если в 2011 году у нас было всего 29 участников, то в 2012 уже - 46, в 2013 – 58, в 2014 - причём в ней приняли участие магистранты и аспиранты других факультетов и Вузов города.

Наши конференции проводятся под эгидой Одесского отделения института морской техники, науки и технологий Великобритании (Institute of Marine Engineering, Science & Technology - IMAREST), штаб-квартира которого находится в Лондоне. Поэтому разрешите передать вам привет и пожелания успешной работы конференции от почетного секретаря Одесского отделения института профессора Ланчуковского В.И., который был у истоков создания отделения института в нашей академии, которое располагается на 1 этаже корпуса №4 в помещении Английского клуба.

IMAREST имеет более чем столетнюю историю. Он был создан в Лондоне в 1889 году как ассоциация судовых механиков, чтобы содействовать их научно-техническому развитию и внедрению новой техники на морских судах. Сегодня IMAREST является всеми признанной международной профессиональной организацией, которая насчитывает около 15 тыс. членов более чем в 10 странах мира. Одесское отделение организовано в 1998 году в результате многолетней совместной работы с английской фирмой Haven Automation Ltd по созданию полномасштабного тренажера СЭУ. Всего в Украине насчитывается около 200 членов института среди моряков, преподавателей и студентов.

У каждого члена института есть своя страничка на сайте института, через которую они оплачивают членские взносы и получают доступ к электронным версиям журналов «Marine Revue», «Marine Electronics», «Shipping World & Shipbuilder» и другой информации Института. Кроме того, члены нашего отделения института в ОНМА имеют право пользоваться английской технической литературой и документацией в библиотеке английского клуба, которая очень полезна для курсового и дипломного проектирования. Поэтому к вступлению в члены института приглашаются и курсанты старших курсов (4-5-6 курс).

Они тоже пользуются всеми правами членов института, они участвуют в ежегодных отчетно-выборных собраниях членов нашего отделения IMAREST, на которых избирается исполнительный комитет и казначей. Их регулярно при-



влекают к участию в опросах, голосованиях, выборах совета IMAREST. В прошлые годы семь лучших курсантов академии и три аспиранта были награждены именными стипендиями Института по 1000 2000 фунтов стерлингов год.

После окончания ОНМА им присваиваются категории чартерного инженера, корпоративного инженера и инженерного техника в зависимости от стажа и уровня образования и выдается соответствующий английский сертификат, который значительно повышает рейтинг наших выпускников, т.к. иностранные компании при приеме на работу этот сертификат оценивают очень высоко.

УДК 656.01

### **ЗАДАЧИ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФАКУЛЬТЕТА ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ ПО РЕАЛИЗАЦИИ ЗАКОНА УКРАИНЫ «О ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ»**

**В.А.Голиков, проректор по научной работе, д.т.н., профессор,  
В.Д.Савчук, начальник НИЧ, к.т.н., профессор  
Одесская национальная морская академия**

Научная, научно-техническая и инновационная деятельность в ВУзах (академии) является неотъемлемой составной частью образовательного (учебного) процесса и выполняется с целью интеграции науки и практики в систему высшего образования.

В пункте 1 статьи 65 Закона Украины «О высшем образовании» отмечается: «...проведение научной и научно-технической деятельности уневерситетами, академиями и институтами является обязательным» [1].

Субъектами научной, научно-технической и инновационной деятельности являются научно-педагогический персонал, курсанты и студенты академии, а также работники предприятий и организаций, которые совместно с академией выполняют научную, научно-техническую и инновационную деятельность.

Основной целью такой деятельности является получение новых научных знаний путем проведения научных исследований и разработок направленных на создание и внедрение новых конкурентноспособных технологий, видов техники для обеспечения развития общества и подготовки специалистов высшей квалификации.

Стратегическими направлениями научных исследований коллектива ученых факультета электромеханики и радиоэлектроники являются исследования, которые направлены на создание теории управления судовыми электроэнергетическими комплексами, разработка методов и способов обеспечения гарантированной безопасности судоходства.

Подпунктом 4 пункта 4 статьи 65 «Закона» также определено основное задание научной, научно-технической и инновационной деятельности ВУЗов, которое состоит в формировании современного научного и кадрового потенциала

способного обеспечить проведение научных исследований и внедрение инновационных научных разработок.

Для этих целей решением Аттестационной коллегии (приказ Министерства образования и науки Украины от 04.07.2013 г. № 893) со середины 2013 г. в академии действует специализированный ученый совет Д 41.106.01 с правом рассмотрения и проведения защиты диссертаций на соискание ученой степени доктора (кандидата) технических наук по специальностям: 05.05.03 – «двигатели и энергетические установки»; 05.22.13 – «навигация управление движением»; 05.22.20 – «эксплуатация и ремонт средств транспорта».

На факультете электромеханики и радиоэлектроники подготовка специалистов высшей квалификации осуществляется через докторантуру и аспирантуру, в настоящее время проходят обучение по специальностям: 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы 5 аспирантов; 05.12.17 – радиотехнические и телевизионные системы – 9 аспирантов.

В 2013-2014 годах защищена 1 докторская и 1 кандидатская диссертации.

Следует отметить, что новым «Законом» предусматривается подготовка специалистов высшей квалификации исключительно с отрывом от производства со сроком обучения 4 года с обязательными образовательными процедурами.

Выполнение поисковых, фундаментальных и прикладных научных исследований на кафедрах и лабораториях факультета электромеханики и радиоэлектроники осуществляется по следующим тематикам:

1. «Разработка судовых интегрированных систем радиосвязи и навигации рамках общей концепции развития электронной навигации», кафедра морской радиосвязи – науч. рук. д.т.н., профессор Кошевой В.М.

2. «Исследование проблем надежности программируемых пользователем субмикронных супербольших интегральных схем СБИС (FPGA)», кафедра морской электроники – науч. рук. к.т.н., профессор ОНМА Завадский В.А.

3. «Теория и технические средства энерго- и ресурсосберегающего управления судовыми энергетическими комплексами», кафедра электрооборудования и автоматики судов – науч. рук. к.т.н., доцент Луковцев В.С.

4. «Мониторинг, диагностика и управление процессами и оборудованием судовых энергетических систем», кафедра судовой электромеханики и электротехники – науч. рук. к.т.н., доцент Муха М.Й., ДР № 0113U000637.

5. «Математическое моделирование механических и физических процессов в деталях машин, строительных конструкциях и энергетических установках» Кафедра вищої математики – науч. рук. д.ф.-м.н., профессор Попов В.Г., ДР № 0109U001539.

Связь науки с производством осуществляется через Центр Глобальных морских систем спутниковой связи (научный руководитель – д.т.н., профессор Кошевой В.М.). Учебно-тренажерный центр ГМССБ оснащен сертифицированным оборудованием спутниковой связи с судами и тренажерами, на которых отрабатываются задачи исследований и опытные образцы, которые были разработаны в центре. По результатам выполненных исследований получено 6 патентов, в том числе один патент Германии.

В ст. 68 Закона Украины «О высшем образовании» отмечается, что для расширения исследований и увеличения объемов работ в ВУЗах необходимо формировать инновационную структуру (научные и технологические парки, бизнес-инкубаторы, центры и др.).

Нашим научно-педагогическим работникам следует обратить особое внимание на формирование интеллектуальной собственности академии, так как результаты выполненных исследований должны завершаться получением патентов и авторских свидетельств на изобретение и авторскую собственность.

За последние два года сотрудниками факультета подано 3 заявки на изобретение и получен 1 патент Украины, авторы Кощевой В.М., Шышкин А.В., Ляшенко А.А.

Курсанты факультетов принимали участие во II-м туре Всеукраинского конкурса студенческих научных работ по направлению «Судостроение и водный транспорт». Победитель конкурса курсант Борисенков Е.Е награжден Министром образования и науки Украины дипломом III степени (руководитель к.т.н., доцент Луковцев В.С.)

В заключение следует напомнить о «Положении об организации научной, научно-технической деятельности ВУЗов III-IV уровней аккредитации» (приказ МОНУ от 01.06.2006 г., № 422), в котором указывается, что основными заданиями ВУЗа в области научной, научно-технической деятельности являются [ 2 ]:

- развитие фундаментальных исследований в области природных, гуманитарных, психолого-педагогических, социально-экономических наук с целью их дальнейшего использования для развития приоритетных направлений науки и техники, социального и экономического развития Украины;

- исследования и разработка теоретических и методологических основ формирования и развития высшего образования;

- поддержка существующих и формирование новых научных школ;

- поддержка научных исследований молодых ученых и одаренных курсантов (студентов);

- обеспечение подготовки в ВУЗе квалифицированных специалистов, научно-педагогических кадров высшей квалификации и др..

В соответствии с принятым «Законом» годовая аудиторная нагрузка научно-педагогических кадров ВУЗов снижается до 600 учебных часов. В тоже время, научно-методическая нагрузка увеличивается почти в двое, что позволяет ученому намного шире, чем ранее, проявить свои творческие способности, инженерную смекалку, научный и педагогический опыт в подготовке командных кадров для морского флота, сплотить научные школы кафедр факультетов, развить творческую активность молодежи и инновационную деятельность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Закон України «Про вищу освіту». Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 37-38, ст. 2004. 86 с.

2. Наказ Міністра освіти і науки України від 01.06.2006 р. № 422 про затвердження «Положення про організацію наукової, науково-технічної діяльності у вищих навчальних закладах III та IV рівнів акредитації». К.:МОН України. 2006. 6 с.

## ИТОГИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА ЭЛЕКТРОСВЯЗИ ITU «ЖЕНЕВА-2006» В УКРАИНЕ

С.А. Михайлов, д.т.н., профессор  
Одесская национальная морская академия

Внедрение наземного эфирного цифрового телевизионного и радиовещания является актуальной задачей. Её реализация оговорена целым рядом правительственных решений и постановлений в различных странах, а в мире в целом эта задача поставлена в известной программе «Женева-2006», принятом Международным Союзом Электросвязи ITU в 2006 году. В этой программе установлены сроки внедрения цифрового эфирного ТВ-вещания в разных странах. Для Украины, в частности, назван 2015 год – срок полного перехода на цифровое ТВ, поэтому является уместным и своевременным подвести итоги выполнения программы «Женева-2006» в нашей стране.

Необходимо отметить, что все звенья подготовки ТВ-передач (съемка, редактирование, монтаж, хранение, запись и перезапись, передача и т.д.) уже давно стали цифровыми. Цифровыми также стали все виды ТВ-вещания: кабельное, спутниковое, мобильное, Интернет. И только последнее звено - доставки сигнала потребителю через эфир - оставалось аналоговым. Между тем, в Украине уже накоплен опыт цифрового наземного ТВ-вещания в стандартах MPEG-2, MPEG-4 и теперь DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Terrestrial 2).

В широко развернувшемся в последнее время общественном обсуждении на тему цифрового телевизионного вещания стали встречаться неожиданные для профессионалов темы: что это телевидение является псевдоцифровым, зачем тратить такие безумные деньги?! А ведь действительно, рядовой пользователь, обыватель, получив приставку SET TOP BOX, смотрит на экран того же самого телевизора, видит ту же самую картинку, слышит тот же самый звук и не понимает, почему такой шум вокруг цифрового телевидения? Конечные потребители просто не занимают свои головы вопросом – а нужно ли делать телевидение цифровым ?!

Данные рассуждения побудили меня взять на себя труд систематизировать, обобщить, выделить, в чём же заключаются новые возможности цифрового телевидения, а тем более цифрового телевидения высокой чёткости. Поскольку все мы заинтересованы в скорейшем внедрении цифрового телевидения, то обсудим его с точки зрения новых технологических и потребительских возможностей.

Первый, по времени появления, пример новых дополнительных возможностей телевидения – это *телетекст*. К сожалению, он не стал популярен в аналоговых каналах, одна из причин этого – его инерционность: не у всех хватает терпения ожидать, когда в эфире пройдет запрошенная страница телетекста. А также слишком упрощенная графика. В цифровом формате телетекст остаётся, он есть в большем числе каналов и стал более скоростным.

**Субтитры.** Аналоговые субтитры, если они есть, то точно будут располагаться поверх картинки – и их нельзя выключить, от них не избавиться. В цифровом вещании зритель имеет возможность выбрать и самому решить – нужны ли ему субтитры и на каком языке.

**Многоязычное звуковое сопровождение.** В аналоговом ТВ эта возможность, к сожалению, осталась нереализованной. На задней стенке советских телевизоров было гнездо, разъем с заглушкой и загадочной надписью «ПДС». Эта аббревиатура означала: «Приставка двухречевого сопровождения». Но и приставок этих никто не видел, и трансляция на нескольких языках не велась.

Сегодня, включая цифровой канал EuroNews, вы можете выбрать любой из десятка европейских языков сопровождения картинки, в том числе украинский или русский. Для желающих почувствовать атмосферу события можно выбрать канал вообще без дикторского комментария, только с реальным звуком, имевшим место быть при записи.

**Электронный программный гид (EPG)** – это триумф технологий цифрового телевидения! Вспомним, какую газету спрашивает читатель в киоске? Имеющую программу телепередач! Что делают периодические печатные издания для повышения спроса и своего тиража? Печатают программу телепередач!

В цифровом телевизионном приемнике эта программа передач на несколько дней вперед всегда доступна, в неё оперативно вносятся изменения, она актуальна, и, к тому же, бесплатна! Важно и то, что процессор тюнера сам пересчитает время начала и окончания передачи для вашего часового пояса. Помимо принятого сейчас указания названия передачи, её времени начала и окончания, в электронном гиде доступна также более подробная информация о программе (время, прошедшее с начала и оставшееся до окончания, имена режиссёра и актёров, год и страна выпуска, жанр, краткое содержание и т.д. – всё что угодно!).

**Фаворитные списки.** Мне вспоминается одно телевизионное интервью, презентация нового советского телевизора. На вопрос журналиста: «Зачем у телевизора так много (100) программ?» (А тогда мы смотрели 3 эфирные программы – и всё!). Чиновник гордо отвечал: «Скоро у нас будет спутниковое телевидение и там программ будет много!».

Этот диалог теперь вызывает улыбку, во-первых, потому, что телевизор – эфирный, а переключение спутниковых каналов осуществляется не в телевизоре, а в спутниковом тюнере, а во-вторых, потому, что цифровых каналов действительно стало много – их тысячи!

И проблема сегодня совсем в другом – как отсортировать ненужные, не интересные в данный момент данному пользователю-телезрителю программы. Эту проблему успешно решают фаворитные списки. Их тематика неограниченна – новости, спорт, музыка, кино и т.д. – и может задаваться телезрителем. А количество этих списков в современных цифровых приемниках достаточно велико.

**Возможность сортировки списка** запрограммированных каналов (программ) по разным критериям: в алфавитном порядке, по возрастанию частот, по транспондерам, по провайдерам и др.

**Ограничения просмотра** телепередач по установленному возрасту, при этом в цифровом пакете содержится информация о возрастном ограничении на

просмотр данной конкретной передачи, приемник автоматически заблокирует её просмотр до момента введения заданного зрителем кода (рис. 10). Возможна также полная блокировка отдельных каналов установкой *родительского замка*.

Установка карт и модулей для *приема платных* телевизионных передач. Это позволяет использовать удобные механизмы реализации услуг платного и интерактивного телевидения *Pay – Per – View* (PPV), *Video – ON – Demand* (VOD) и других.

*Смещение начала трансляции* (на 15 минут, полчаса, 45 минут, 1 час, 1,5 часа и т.д.), одной и той же передачи. Присутствие в информации о программе специального символа означает, что одновременно передается несколько цифровых потоков. Это может быть, например, передача изображений сразу от нескольких камер спортивного канала и зритель имеет возможность выбрать тот вид и перспективу, которые ему наиболее интересны и удобны в данный момент (многокурсное ТВ). Либо, одну и ту же передачу можно смотреть со сдвигом во времени. Например, если начало передачи в 14-00 пропущено, то её можно начать смотреть и в 14:15 и в 14:30 и в 15:00 и т.д. (таблица). Спортивные соревнования, футбольный матч, кинофильм можно начать просматривать, когда это удобно зрителю.

*Стоп–кадр и многократное увеличение (ZOOM)*. Сегодня эти функции можно назвать привычными, они перестали кого–либо удивлять. Но уместно напомнить, что данные возможности могут быть реализованы только на цифровом оборудовании.

*Многоканальный звук. Звуковое окружение.* (Dolby Digital и Dolby Surround). Информация о звуковом сопровождении также передается с цифрового тюнера в цифровом виде. Это может быть коаксиальный вход, цифровой вход HDMI, либо опто-волоконный кабель. При подключении к аудио ресиверу можно воспроизводить многоканальный звук Dolby Surround 5.1. и создать полноценный домашний кинотеатр не с DVD, а с эфира. Выходные сигналы от тюнера цифрового телевидения могут быть переданы разными способами: через интерфейс HDMI (High Definition Multimedia Interface) – и многоканальный звук и изображение высокой четкости, через стандартные экранированные кабели с разъемами RCA (video, audio), через компонентный видео выход (Y, Pb, Pr), через разъемы SCART, оптический сигнал лазерного луча по волоконно-оптическому кабелю от выхода S/PDIF (многоканальный звук). Кроме того, передача информации и обновление программного обеспечения может осуществляться через стандартный компьютерный последовательный порт RS-232 по 15-жильному кабелю, либо через стандартный порт USB. Также могут использоваться видео выход S-VHS и выход цифрового многоканального звука по коаксиальному кабелю с разъемом RCA.

*Средства и способы доставки сигнала* – это целая техническая революция! Цифровой ТВ-сигнал может быть получен зрителем через эфир, кабель (медный, оптоволоконный), Интернет, из космоса, в движении - мобильное ТВ.

*Упрощение конструкций антенн DVB – T.*

*Устойчивый прием в движении DVB – T и DVB – H.*

**ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ источников сигнала (АНТЕНН): DiSEgC (DIGITAL SATELLITE EQUIPMENT CONTROL.)** Приведена иллюстрация двухуровневой коммутации входных сигналов для тюнера от десяти популярных принимаемых в Украине спутниковых ретрансляторов, ведущих HD-вещание. Причем, здесь существенно и важно, что и цифровые управляющие сигналы для поляризаторов, и управление двумя типами переключателей (DiSEgC 1.0 и DiSEgC 1.1), и высокочастотные сигналы передаются одновременно в одном коаксиальном кабеле.

**Выбор пользователем-телезрителем чересстрочной ( *i* ) или прогрессивной развёртки ( *p* ).** Это важно для динамических быстро меняющихся изображений (автогонки, теннис, боевик и т.д.), где лучше работает прогрессивная построчная развертка; или статической спокойной картинке (пейзажи), где более четкое изображение получается при чересстрочной развертке.

**Обновление программного обеспечения тюнера.** Теперь Вам не нужно покупать новый тюнер взамен морально устаревшего – его можно «омолодить», заменив на более современное его программное обеспечение. Причем, сделать это можно, получив новую информацию от другого тюнера, с помощью персональной ЭВМ, либо просто настроившись на специальный канал в эфире.

Теперь о новых возможностях цифрового ТВ **высокой четкости**. Ему присущи все перечисленные новые свойства и, конечно-же, кое-что ещё! Отметим, что HDTV – существует уже 25 лет и насчитывает несколько поколений, начиная с аналогового. Одна новая возможность, или свойство, HDTV может быть названа **психологической** или даже социально – психологической.

Существует такой социально – психологический канал, который называется Melody Zen, (созвучно с религией Дзен). Здесь идёт передача исключительно прибрежных пейзажей неподвижной камерой. Аудио–визуальное созерцание и наблюдение трёх естественных стихий – воды, земли и воздуха, в современном качестве изображения высокой четкости с многоканальной звуковой дорожкой действительно даёт эффект психологической релаксации.

Известен опыт прямой трансляции на HD-канале просто уличной картинке – и это вызывает интерес зрителя, за счёт хорошей передачи мелких деталей. Реалистичность изображения близка к живому визуальному наблюдению, и даже выше, это вызывает у зрителя необычный эффект присутствия на месте действия, оставаясь невидимкой. Вообще говоря, уже стало поговоркой, что телевизионная картинка высокой четкости интереснее, чем сама реальная жизнь, увидев однажды цифровое телевизионное изображение высокой чёткости, на другое смотреть уже не хочется – и это самый главный аргумент для скорейшего внедрения HDTV!

Обсужденный сегодня список новых возможностей цифровых технологий вещания не является исчерпывающим. Наука и технический прогресс в технологиях цифрового телевидения постоянно пополняют и обновляют этот список.

Таким образом, в Украине полностью и ранее установленного срока выполнена программа Международного союза электросвязи ИТУ, названная «Женева-2006», а цифровые технологии, примененные в формировании, обработке, передаче и приеме цифрового ТВ-сигнала (DVB-T2), являются наиболее передовыми в мировой практике.

## **ИТОГИ РАБОТЫ УКРАИНСКОЙ ДЕЛЕГАЦИИ НА 94 СЕССИИ КБМ**

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор  
Одесская национальная морская академия

### **Пропозиція для незапланованого рішення, присвяченого модернізації ЕКНІС для УКХ зв'язку**

#### **Відомості**

1. ЕКНІС, як визначається Міжнародною Морською Організацією (ММО), при впровадженні буде одним з найголовніших інструментів навігації і підтримки прийняття рішень, у вищій мірі завдяки здатності інтеграції з іншими системами і периферійним устаткуванням суден. Це вже очевидно від вигод з'єднання автоматичної ідентифікаційної системи (АІС) і ЕКНІС, що добре об'єднані системи, дають ефект спільних дій. Фактично, ЕКНІС не могла б займати те місце, де вона є сьогодні без цього виду інтерфейсу.

2. Значення ЕКНІС для безпечної навігації безперечне. Проте, його потенціал в цьому напрямі повністю не використаний. Наступний крок в підтримці ефективності навігації і обладнання зв'язку на борту сучасних суден - звести разом ЕКНІС/АІС і УКХ-ЦВВ. Наряду з притаманними перевагами за рахунок з'єднання цих технологій, така інтеграція відповідала б принципами, які підтримують концепцію е-навігації ММО. Інтеграція різних систем дозволяє оптимізувати управління судном, щоб уникати можливих промахів і некоректних рішень штурмана.

3. Інтеграція різних систем, розвиток поняття інтегрованого навігаційного містка дозволяє управляти судном з одного робочого місця – оператора ЕКНІС.

#### **Цілі ММО**

4. Пропозиція є повністю в межах можливості мети ММО і є в спорідненості із стратегічним напрямом, як вказано вище.

#### **Незаперечна потреба**

5. Важлива мета модернізації ЕКНІС - розвиток і виконання таких технічних удосконалень, які могли надати можливість: 1) автоматично забезпечувати ЦВВ зв'язок безпосередньо з ЕКНІС; 2) показувати судно, що викликає, шляхом миготливою АІС відміткою на ЕКНІС судна, що викликається (і червоною миготливою відміткою у разі виклику лиха) і таким чином зробити негайно зробити процес прив'язки судна, що викликає, до поточної навігаційної ситуації.

Виконання цих двох завдань можуть бути досягнуті в межах рамок устаткування судна, що зараз використовується, через інтеграцію ЕКНІС-АІС з УКХЦВВ. Ця інтегрована система дозволяє отримати нові якості, які не могли бути досягнуті, використовуючи будь-яку з вказаних систем окремо. Така інте-



грована система повинна збільшити якість інформації, доступної вахтовому офіцеру. Згадана інтеграція вимагає спеціального з'єднання між собою ЕКНІС і контролера ЦВВ, яке б дозволило забезпечити передавання ідентифікатора морської рухомої служби ІМРС у контролер ЦВВ шляхом «кліка» мишею по АІС відмітці на суднової ЕКНІС і відмічаючи судно, що викликає, у разі отримання виклику ЦВВ.

Проблема полягає в тому, що в існуючій ЕКНІС, підключення до ЦВВ не передбачається. Тому необхідно зробити відповідну модернізацію ЕКНІС. З'єднання УКХЦВВ і ЕКНІС, може бути здійснено за допомогою двонаправленого інтерфейсу.

6. Взагалі інтегрована система придатна не лише для зв'язку судно-судно, але і для зв'язку берег-судно і судно-берег, які дуже важливі для застосування в Службі управління рухом суден і діях SAR.

7. Усі чинники викладені вище, вимагають, як вважає Україна, відповідні поправки, які мають бути включені до експлуатаційних стандартів, що забезпечують ЕКНІС/АІС інтеграцію з УКХ ЦВВ задля спрощення швидкого і цільового УКХ зв'язку і надійного ототожнення суден відносно поточних навігаційних умов.

### **Аналіз проблеми**

8. За останні роки в Підкомітеті по радіозв'язку, пошуку і рятуванню (COMSAR 8/4/1; COMSAR 14/7; COMSAR 14/WP.5; COMSAR 14/WP.6; COMSAR 14/WP.7; COMSAR 15/ INF.3) і Підкомітеті з безпеки навігації (NAV 59/12/2; NAV 59/WP.1) та в Підкомітеті з Навігації, Зв'язку та Пошуку і Рятуванню (NCSR 1/13; NCSR 1/17; NCSR 1/WP.7; NCSR 1/WP.1) було розглянуто низку документів з приводу проблем вказаних вище. У документі COMSAR8/4/1 були проаналізовані деякі недоліки УКХ ЦВВ і радіотелефонного зв'язку. Відповідні УКХ ЦВВ/радіотелефонні процедури адресації вимагають численних додаткових дій для встановлення зв'язку, що уповільнює інформаційний обмін. Наприклад, у екстрених ситуаціях судноводії зазвичай ігнорують ЦВВ і замість цього піднімають телефон на каналі 16. Проте, нехтування ЦВВ і перемикання на УКХ радіотелефон, в реальності не покращує проблему. Час витрачається даремно на встановлення кому і хто хоче сказати. Судноводій, що викликає, має швидко і ясно визначити призначеного отримувача, у той же час вахтові офіцери на суднах, які знаходяться поблизу, повинні зрозуміти чи вони являються дійсно тим отримувачем на з'ясуванні їхнього розташування і іншого руху у даному районі. Тому, в теперішньої реалізації ЦВВ/радіотелефон не з відноситься до швидкого оперативного зв'язку і має бути змінений. Шляхи усунення цих недоліків були вказані в документі COMSAR14/7 без потреби в нових засобах комунікації - об'єднуючи контролер УКХ/ЦВВ з ЕКНІС/АІС. Це б дозволило 1) уникнути ручного формування виклику ЦВВ. Замість цього, шляхом кліку по АІС відмітки судна на ЕКНІС автоматично ініціювати необхідні дії для реалізації виклику ЦВВ; 2) автоматично ідентифікувати судно, що викликає, на електронній карті, таким чином негайно роблячи очевидним до одержувача, хто викликає і його позицію відносно навігаційної ситуації. Це до-

зволило б вахтовому офіцерові надати швидку оцінку ситуації і приймати ефективніші рішення; і 3) почати зв'язок без витрати будь-якого часу на вирішення хто є хто. Ряд делегацій виразилися на підтримку української пропозиції в пленарній сесії і дотримувались погляду, що пропозиція визначила потреби користувача. Робоча група з е-навігації також відмітила, що ця пропозиція повністю сумісна з стратегічним напрямом е-навігації (Звіт робочої групи з е-навігації COMSAR 14/WP.6 параграф 50.14). Технічна робоча група відмітила, що не було ніяких технічних обмежень на здійснення пропозиції але це **вимагає перегляду стандартів ЕКНІС** (Звіт технічної робочої групи COMSAR 14/WP.5 параграф 5.2). Дивіться також звіт Комітету з безпеки мореплавства COMSAR 14/WP.7 (параграфи 12.10 і 12.15.3) і документ Морського інституту COMSAR 15/INF.3 (сторінка 3).

Згідно з висновком документу COMSAR 14/WP.5 Пропозиція для модернізації ЕКНІС для УКХ радіозв'язку була представлена Підкомітету з безпеки навігації (документ, NAV 59/12/2). Була взагалі висловлена підтримка щодо пропозиції на пленарній сесії. Підкомітет з безпеки навігації має на увазі, що пропозиція заслужує на досконалий технічний аналіз до того як така інтеграція буде здійснена в межах існування навігаційних систем і **запропонував Україні зробити пропозицію Комітету з безпеки мореплавства для незапланованого рішення** для розгляду на нещодавно з'єднаному Підкомітеті з навігації, зв'язку і пошуку та рятування (Звіт Комітету з безпеки мореплавства, NAV 59/WP.1 параграфи 12.6-12.8).

Також українська пропозиція щодо спрощення УКХ радіозв'язку за допомогою ЕКНІС-АІС з УКХ ЦВВ інтеграції була приведена у звіті Кореспондентської групи з детального перегляду

ГМЗЛБ у Додатку (Апендикс 1) до документу NCSR 1/13, параграф 13.2.3 « Роль людського елемента вздовж численних функціональних потреб. Людській машинний інтерфейс. Спрощений стандартизований інтерфейс для усього обладнання оператора». Аналогічно це питання було представлено у документі NCSR 1/17 у параграфі 11.2.3 та у докладі Технічної робочої групи NCSR 1/WP.7 у параграфі 13.2.3.

### **Аналіз наслідків**

9. Інтеграція ЕКНІС-АІС і УКХЦВВ може бути досягнута в межах зараз використаного устаткування судна і не вимагає ніяких змін до існуючих оперативних процедур радіозв'язку (Якщо необхідно, усі компоненти інтегрованої системи можуть бути використані окремо в звичайних режимах) зв'язку. Важливим є те, що існуючий ручний метод формування/перегляду викликів буде збережений як додатковий засіб до автоматичного методу здійснення викликів в системі ЕКНІС-АІС-ЦВВ. Тільки дві додаткові дії для ЕКНІС повинні бути здійснені: 1) забезпечення автоматичного передавання ІМРС в контролер ЦВВ безпосередньо від ЕКНІС (дані АІС вже мають його). Параметри, наприклад, робочий номер каналу, може бути встановлений за умовчанням (чи може бути вибраний вручну, якщо необхідно, з використанням стандартних комп'ютерних дій); і 2) відображення судна, що викликає, миготливою АІС відміткою на

ЕКНІС судна, що викликається (і червоною миготливою відміткою у разі виклику лиха).

### **Переваги**

10.Ініціативі е-навігації буде за потрібно зосередитися на вирішенні проблеми підтримки суднової системи в сучасному стані і вільної від помилок. Розвиток технологій і застосування е-навігації продовжуватиме вносити зміни в морські системи зв'язку. Берегові засоби і суднові оператори матимуть вибір економічних і ефективних альтернатив для обміну інформації, які їм потрібні для безпечного функціонування суден. Інтеграція ЕКНІС-АІС з УКХЦВВ гарантує подальше підвищення навігаційної безпеки, у той же час спрощує інтерфейс судноводія з устаткуванням зв'язку і навігації і прискорюють дії оператора для зв'язку у напрямках судно-судно, судно-берег і берег-судно (COMSAR 15/INF.3). Останні два дуже важливі для використання у системі управління рухом суден і операціях SAR. Коли з'являється необхідність у УКХ зв'язку в надзвичайній ситуації, судноводієві треба бути здатним розрахувати на швидкий доступ до ясного голосового зв'язку без марної втрати будь-якого часу на виконання непотрібних для цього дій, і повинен мати змогу сконцентруватися на головному завданні, зокрема, пов'язаному із безпекою навігації (звичайно, з належним дотриманням згідно COLREG). Ця пропозиція повністю сумісна із стратегічним напрямом розвитку е-навігації, який включає подальший розвиток засобів зв'язку і навігації і втілення сучасних цифрових інформаційних технологій в навігацію.

### **Промислові стандарти**

11.Конвергенції технологій можуть вимагати подібного підходу до деяких елементів навігації і зв'язку. Існуюча система встановлення стандартів, можливо, не підходить в усіх випадках до усіх модернізованих елементів із-за швидкої зміни і збільшення застосування систем, які базуються на використанні програмного забезпечення. Пропозиція інтеграції ЕКНІС-АІС з УКХЦВВ вимагає відповідних поправок, які треба включити тільки в експлуатаційні стандарти ЕКНІС. Промисловість активно залучалася б до розвитку цієї модернізації тільки після прийняття відповідних поправок.

### **Рішення**

12.Плановане рішення - нова поправка, яка має бути включена до експлуатаційних стандартів ЕКНІС для реалізації інтеграції ЕКНІС-АІС з УКХЦВВ.

### **Людський елемент**

13.3 огляду на те що спрощення інтерфейсу користувача є головною ціллю цієї пропозиції, людський елемент відіграє центральну роль в зазначеному поданні. Обговорення у Кореспондентської групі (NCSR 1/13) і в об'єднаній ІМО/ІТУ Експертної групі (NCSR 1/17) визнали цю центральну роль і розмістили українську пропозицію у параграфі з назвою «Роль людського елементу...». Морський інститут проводить опитування своїх членів за допомогою своєї

Кореспондентської групи діючих моряків на судах, завдяки чому отримують інформацію з перших рук щодо потреб користувачів з модернізації ГМЗЛБ. Ця інформація була представлена у документі COMSAR 15/INF.3. У цьому документі зазначено що більшість потреб зв'язку включно які ми маємо у ГМЗЛБ на пряму пов'язанні з навігаційними задачами такими як уникнення зіткнень, портовими операціями, операціями з пошуку та рятування. Таким чином інтеграція навігаційних задач та комунікаційних задач зв'язку з урахуванням людського фактору є дуже важливими для судноплавства. Заповнений чек лист, який додається, демонструє що людський елемент є достатньої мірою присутній у нашому поданні.

### **Пріоритет**

14. Вважаючи на рекомендацію Підкомітету з безпеки навігації – «Підкомітет ... запропонував Україні зробити пропозицію Комітету з безпеки мореплавства для незапланованого рішення *на розгляд нещодавно з'єданого Підкомітету з навігації, зв'язку і пошуку та рятування (NCSR)*», пропозиція має високий пріоритет.

### **Необхідна дія**

15. Комітет запрошений розглядати пропозицію і включити незаплановане рішення до порядку денного Комітету: "Модернізація ЕКНІС для УКХ зв'язку".

УДК 629.016:51-74

## **ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСА**

В.В.Будашко, докторант, к.т.н., доцент

Е.А.Юшков, аспирант

Д.О Гончаренко, магистр

Одесская национальная морская академия

При исследовании процессов в судовых энергетических установках (СЭУ) комбинированных пропульсивных комплексов (КПК), важнейшим этапом для проверки адекватности математических и имитационных моделей реальным объектам является создание и совершенствование их физических моделей, которые позволяют максимально воплотить спектр практической части научно-исследовательской работы.

Основной проблемой при создании физических моделей различных объектов является соблюдение гидродинамического подобия. В соответствии с теоремой подобия Кирпичева-Гухмана гидродинамические явления будут подобными, если они: 1) описываются одной системой дифференциальных уравнений; 2) имеют подобные условия однозначности; 3) имеют численно равные

критерии подобия [1]. В частности, соблюдение геометрического подобия недостаточно для независимости гидродинамических свойств от размеров.

Как известно основными критериями гидродинамического подобия являются критерии Фруда, Рейнольдса, Эйлера и Струхалия, которые учитывают влияние различных физических сил, действующих на физическую модель и реальный объект, а также характеризуют инерционные гидродинамические силы, возникающие при нестационарном движении жидкости. Практическая и физическая невозможность одновременного выполнения условий полного подобия заставляет искать частные критерии подобия, выражающие условия подобия в случае, когда в качестве преобладающей выступает одна из действующих сил [2].

Нарастающее внедрение на судах различных типов подруливающих устройств (ПУ) и азимутальных винто-рулевых установок (Азиподов), в зависимости от выполняемых судном задач, позволяет применять системы динамического позиционирования (*DP*) трёх типов [3]. В любом случае, создание физической модели судна, работающего в режиме *DP*, допускает рассматривать гидродинамическое подобие с преобладающим влиянием одной из действующих сил.

Т.к. невозможно одновременно удовлетворить соблюдение критериев Рейнольдса и Фруда для одной и той же среды на модели и в натуре, или, другими словами, при *DP* судна, когда его скорость относительно поверхности воды равна нулю, преобладающим является критерий Фруда, в отличие от критерия Рейнольдса, т.е. присутствует гидравлический процесс при взаимодействии неподвижного судна с волнами и потоками, создаваемыми гребными винтами.

Если среда проведения эксперимента будет отличной от натурной, то одним из определяющих критериев должен стать критерий Архимеда, а для отдельно взятого ПУ или Азипода, воздействующих друг на друга и на судно в целом при помощи упора винта, определяемым будет критерий Струхалия как функция числа Рейнольдса, лежащего в диапазоне  $200 < Re < 200000$ , в котором число Струхалия постоянно:  $Sh = 0,2 \div 0,3$ . Применительно к разности упоров, характер данной зависимости остается постоянным для всех режимов обтекания корпуса в указанном выше широком диапазоне изменения чисел Рейнольдса, и свидетельствует о доминирующей роли процесса вихреобразования в кормовой области плохообтекаемого корпуса (в граничном случае – расположенного перпендикулярно потоку) в формировании поля давления на его поверхности, а значит и энергетическими потерями.

Критерий Эйлера может быть определяющим в случае применения выдвигаемых или туннельных ПУ. В свою очередь последние предполагают учёт критерия Струхалия в качестве определяемого.

Исходя из вышеизложенного и учитывая тот факт, что геометрическое подобие соблюдено, а тип, форма и количество лопастей винта не являются определяющими критериями для отдельно взятого ПУ или Азипода в составе натурального СЕУ КПК, можно построить для него вполне адекватную физическую модель, если принять за допущение, что все электрические и тепловые

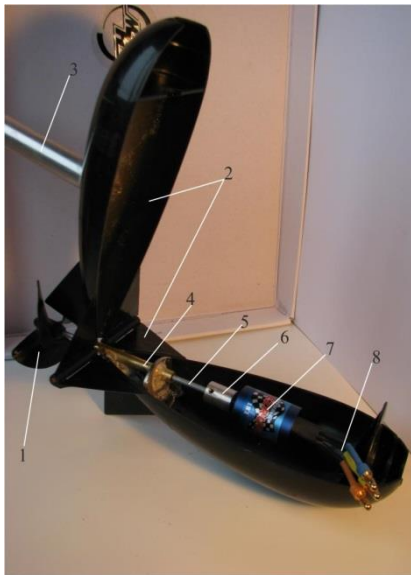


Рисунок 1 – Модель Азипода в открытом состоянии: 1 – гребной винт; 2 – корпус; 3 – баллер; 4 – дейдвуд; 5 – вал; 6 – муфта; 7 – электродвигатель; 8 – кабель питания.

Для обеспечения скорости перекаладки с борта на борт примерно  $2^\circ/\text{сек}$  и электродвигатель с редукторной передачей для привода винта на  $0 \div 300$  об/мин, а для соблюдения масштаба массовых сил  $l_q$  корпус модели Азипода был пропорционально утяжелён свинцовым наполнителем (рис. 1). Электродвигатель получает питание по гибкому кабелю от программируемого контролера (преобразователя частоты, ПЧ, рис. 2), который обеспечивает диапазон регулирования момента и частоты вращения во всей координатной плоскости. Электродвигатель *Hobbywing EZRUN 2030 18T 5200KV* – трёхфазный бесколлекторный низкоомный высокочастотный со следующими характеристиками: обороты/вольт (KV) – 5200; номинальный ток – 18А; пиковый ток – 50А; питание – 4-9 *cells NiMH/NiCd*, 2-3S *LiPo*; BEC – линейный, 6V/1A; диаметр мотора, мм – 20; длина мотора (без вала), мм – 30; диаметр вала, мм – 2; длина вала, мм – 10. Электродвигатель питается от бесколлекторного регулятора *Hobbywing EZRUN 18A*, который программируется при помощи карты *Hobbywing XERUN/EZRUN*. Инструкция по эксплуатации, подключению и программированию контроллера, а также по калибровке диапазона каналов управления при первом включении нового регулятора, при использовании регулятора с новым приемником или при изменении нейтрального положения передатчика, а также других параметров приведена в [4]. Там же находятся схемы подключения сервопривода поворота баллера, источника питания и органов управления электроприводом винта,

двигатели будут подобны натурным, и для них будут выдержаны следующие константы подобия:  $l_u$  – масштаб скоростей;  $l_t$  – масштаб времени;  $l_q$  – масштаб массовых сил;  $l_e$  – масштаб длин и линейный масштаб; для среды:  $l_n$  – масштаб коэффициента кинематической вязкости и  $l_r$  – масштаб плотности; а для туннельных или выдвигаемых ПУ:  $l_p$  – масштаб сил давлений.

В соответствии с  $l_e$ , для выбранного типа винта, были определены главные размеры корпуса модели из расчёта водоизмещения судна  $D = 100000$  тонн и скорости движения в морской воде  $v = 22$  узла. Корпус ПУ типа Азипод выполнен в виде обтекаемой гондолы пропорциональных размеров с дейдвудным устройством и баллером. Соблюдая масштаб скоростей  $l_u$  были подобраны: редукторная передача для поворота баллера для обеспечения



Рисунок 2 – Модель Азипода в собранном состоянии: 1 – гребной винт; 2 – корпус; 3 – баллер; 4 – шестерня редуктора поворота; 5 – муфта ограничителя; 8 – кабель питания.

а также таблица выбора режимов работы регулятора в зависимости от требований технологического процесса.

Одной из наиболее перспективных концепций СЭУ КПК является гибридная судовая установка с винтами противоположного вращения (*Contra-Rotating Pod, CRP*), работающих в режиме *DP*, где преобладают гравитационные силы и действует закон подобия Фруда, для соблюдения которого необходимо равенство чисел для модели и натурой, т.е.  $Fr_M = Fr_H$  и критерии подобия необходимо выражать через характерные для данного режима величины.

При обтекания корпуса судна водой в качестве характерного линейного размера выбирают длину судна между перпендикулярами по ватерлинии и осадку в направлении потока, а в качестве характерной скорости – скорость набегания потока.

Критерий подобия Фруда для нашего случая получаем из общего критерия гидродинамического подобия Ньютона, подставив в это уравнение силу тяжести,  $G = mg$ :

$$\frac{v_S^2}{g_S \cdot l_S} = \frac{v_M^2}{g_M \cdot l_M}, \quad (1)$$

где:  $v$  – скорость набегającego потока, м/с;  $g$  – сила тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $l$  – длина, м; соответственно ( $S$ ) – судна и ( $M$ ) – модели.

Из равенства (1) необходимо получить основные параметры всех возникающих потоков с учетом масштабов подобия. Вычислим, в какой зависимости находятся скорости, упоры и моменты для модели и судна в случае моделирования по закону Фруда.

Если для натуральных условий и условий испытания модели ускорения силы тяжести  $g_S \neq g_M$ , то из (1) следует:

$$\frac{v_S}{v_M} = \sqrt{\frac{l_S \cdot \rho_1}{l_M \cdot \rho_2}} = \sqrt{\lambda_{SM}}, \quad (2)$$

где:  $\rho_1, \rho_2$  – плотности сред, кг/м<sup>3</sup>, т.е. скорость модельного потока воды должна быть уменьшена в  $\sqrt{\lambda_{SM}}$  при условии соблюдения критерия Архимеда для натурной среды и среды моделирования.

Учёт возникновения кавитации осуществляется соблюдением критериев подобия  $Fr, Re$  и равенством чисел  $Eu$  для модели и судна.

Так, упоры винтов модели и судна должны находиться в зависимости:

$$\frac{T_S}{T_M} = \frac{n_S \cdot v_S}{n_M \cdot v_M} = \lambda_{SM}^2 \sqrt{\lambda_{SM}} = \lambda_{SM}^{2.5}, \quad (3)$$

где  $n_S, n_M$  – частоты вращения гребных валов, об/мин; т.е., если упор судового винта  $T_S$ , то на меньшей в  $\lambda_{SM}$  раз модели, упор винта должен быть меньше в  $\lambda_{SM}^{2.5}$  раз при условии соблюдения геометрических критериев подобия.

Отношение моментов на валах винтов, а следовательно и потребляемых приводными двигателями мощностей, учитывая соотношение (1) и (2), равно:

$$\frac{Q_S}{Q_M} = \frac{D_S \cdot v_S}{D_M \cdot v_M} = \lambda_{SM}^{2.5} \sqrt{\lambda_{SM}} = \lambda_{SM}^3, \quad (4)$$

где  $D_S, D_M$  – диаметры винтов, м;

Аналогично через линейный масштаб можно вывести значения масштабных коэффициентов для других параметров.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Чижиумов С.Д. Основы гидродинамики: учеб. Пособие / С.Д. Чижиумов. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КНАГТУ», 2007. – 106 с.

2. Максимов А.И. Модели и моделирование в научных исследованиях: учебное пособие по курсу «Методология научных исследований» / А.И. Максимов // ГОУВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т.: Иваново. – 2006. – 88 с.

3. Будашко В.В. Удосконалення системи управління підрулюючим пристроєм комбінованого пропульсивного комплексу / В.В. Будашко, О.А. Онищенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 38 (1081). – 178 с.

4. *User manual Ezrun series sensorless brushless speed controller for car and truck, Available at: [http://www.hobbywing.com/download\\_show.asp?id=79](http://www.hobbywing.com/download_show.asp?id=79) (accessed 05.12.2014).*



# СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

УДК 621.431.7'313-021.62:629.5

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МАШИНАМИ, НАВЕШЕННЫМИ НА ОДИН ВАЛ С ГЛАВНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

В.С. Луковцев, к.т.н., доцент

Д.М. Горбачев, курсант

Одесская национальная морская академия

### Постановка проблемы

В последнее время стала актуальной проблема эффективной эксплуатации комбинированных энергетических установок с навешанными синхронными или асинхронными машинами на одном валу с главным двигателем.

Одной из причин такого конструктивного решения является значительный рост цен на топливо и ужесточение требований к вредным выбросам в атмосферу. Кроме того, большинством фирм производителей судового оборудования движет цель достижения максимальной эффективности в выработке электроэнергии, которую можно было бы использовать для обеспечения питанием судовых нужд.

Электрические машины могут соединяться с главным двигателем при помощи соединительных муфт и редукторов. Ведущими в использовании такой технологии являются компании *Wartsila* и *ABB*, которые предложили систему с использованием электрической машины на одном валу с главным двигателем. Эта установка может работать как генератор и работать на судовую электростанцию. В этом режиме главные генераторы могут быть отключены. Тем самым достигается значительная экономия топлива и уменьшение вредных выбросов. Или же возможна параллельная работа с основными генераторами, увеличивая мощность на шинах главного распределительного щита.

Возможен также режим работы данной электрической установки в качестве гребного электродвигателя в том случае, если произошла поломка главного двигателя и судну необходимо обеспечить ход. Отсоединение гребного вала от двигателя производится с помощью специальной разъединительной муфты.

Электрическая машина может совместно работать с двигателем, тем самым увеличивая его мощность, что может быть крайне важно во время маневров или при прохождении судна в сложных ледовых условиях.

На сегодня запатентовано использование одной, двух и трех электрических машин, соединенных с валом главного двигателя.

## Цель и основные задачи проекта

Исследование и выбор структуры и алгоритмов системы управления комбинированными установками, обеспечивающих их максимальную эффективность, определение всевозможных режимов работы системы и их исследование путем моделирования с помощью современных компьютерных технологий. Для этого ставятся задачи разработки математических моделей исследуемых процессов, алгоритмов и программ управления новыми режимами. Кроме того, предусматривается проведение серии испытаний на лабораторных стендах и в реальных морских условиях.

## Методы исследования

Используются методы системного подхода, методы теории инвариантного, оптимального и прогнозирующего управления.

## Научная гипотеза

Для решения задачи повышения эффективности такой системы, предлагается использовать инвариантную систему, построенную на базе методов прогнозирующего управления с применением эталонной модели и экстраполятора, работающих в ускоренном времени (Рис 1).

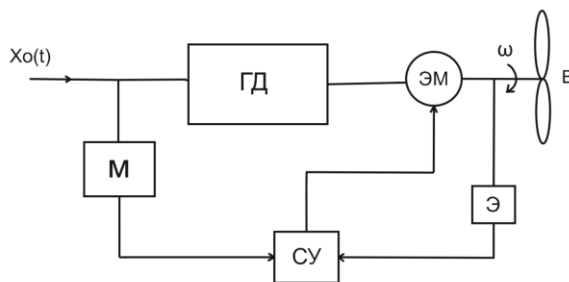


Рисунок 1- Структурная схема регулирования нагрузки главного двигателя:  
ГД - главный двигатель; ЭМ - электрическая машина; В-винт; СУ – сравнивающее устройство; Э - экстраполятор; М – математическая модель.

## Выводы

Применение комбинированной энергетической установки с системой прогнозирующего управления позволит:

- увеличить область допустимых режимов работы главного двигателя;
- обеспечить возможность реализации помощи воздушной системе главного двигателя во время пуска;
  - обеспечить безопасность установки в сложных погодных условиях, когда возможны оголения винта;
  - использовать навешенные электрические машины в качестве гребных электродвигателей в случае отказа главного двигателя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Луковцев В.С., Щербинин В.А. Особенности работы комбинированного двигателя в составе судовой пропульсивной установки// Научно-технический сборник «Судовые энергетические установки».- Вып.№21.- Одесса: ОНМА, 2008.- С. 87-90.
2. Колегаев М.А., Кульбауцкий А.А. Материалы международной научной и научно-методической конференции «Современные проблемы судовой энергетики-2007».- Одесса: ОНМА, 2007.- С. 51-59.

## ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ АВТОРУЛЕВОГО ПРИ БОЛЬШИХ ИЗМЕНЕНИЯХ КУРСА

В.С. Луковцев, к.т.н., доцент  
 О.Р. Фомин, курсант  
 Одесская национальная морская академия

### Введение

Несмотря на технический прогресс, проблема обеспечения безопасности мореплавания остается ключевой. Именно поэтому ведутся активные исследования повышения эффективности систем управления курсом судна и маневрирования (авторулевых).

### Постановка задачи

Большинство авторулевых (АР), реализуют пропорционально-интегро-дифференциальный закон управления. Эффективное управление достигается подбором коэффициентов. Возможности ПИД-контроллера ограничены, и не всегда удовлетворяют требованиям, в виду этого переход на заданный курс при больших курсовых поправках выполняется вручную. Поэтому целью данной работы было поставлено организация оптимального управления по быстродействию САУ курсом судна. Для автоматизации этого процесса было предложено включить в закон управления специальное управляющее устройство (УУ) .[1]

### Изложение материалов исследования

УУ включает в себя сравнивающее устройство (СУ) и релейно-корректирующее устройство (РКУ), последнее состоит из вычислительного устройства, и релейного элемента. Для обеспечения быстродействия АР вычислительное устройство, реализующее теорему об n-интервалах [2] и принцип максимума Понтрягина, УУ устанавливается параллельно ПИД регулятору. При больших изменениях курса происходит переключение с ПИД регулятора на УУ. На рис. 1 приведена структурная схема такого авторулевого:

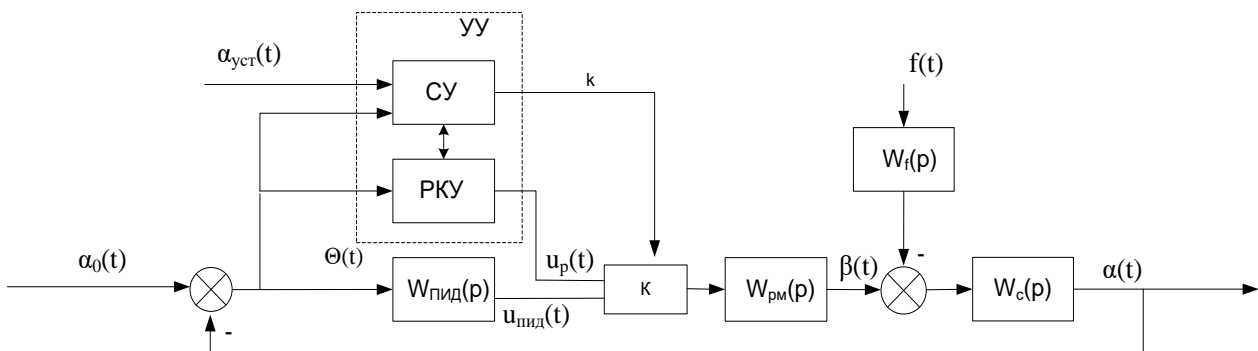


Рисунок1 – Структурная схема двухконтурной системы управления курсом судна

УУ- осуществляет переключение контуров управления посредством выработки управляющего сигнала  $k$  и формирует релейный сигнал управления  $u(p)$  в режиме больших отклонений курса от заданного с помощью ключа  $K$ ; При переключении ключа  $K$  на вход, соответствующий релейному сигналу управления  $u(p)$  подается на блок  $W_{pm}(p)$  (передаточная функция рулевой машины). Сигнал  $U_{pid}(p)$ , формируемый ПИД-регулятором, не оказывает влияния на общий сигнал управления  $u(p)$ . Форма и длительность релейного сигнала  $U(p)$  определяются значением сигнала ошибки  $\theta(p)$  в начальный момент. При этом сигнал  $u(p)$  подается на блок  $W_{pm}(p)$ (передаточная функция рулевой машины). Система управления курсом судна описывается уравнением 3-го порядка.

$$T_p T_c \frac{d^3 \alpha(t)}{dt^3} + (T_p + T_c) \frac{d^2 \alpha(t)}{dt^2} + \frac{d \alpha(t)}{dt} = k_p k_c u(t) \quad (1)$$

Согласно теоремы об  $n$ -интервалах сигнал  $u(t)$  должен иметь 3 интервала, при этом будет иметь вид

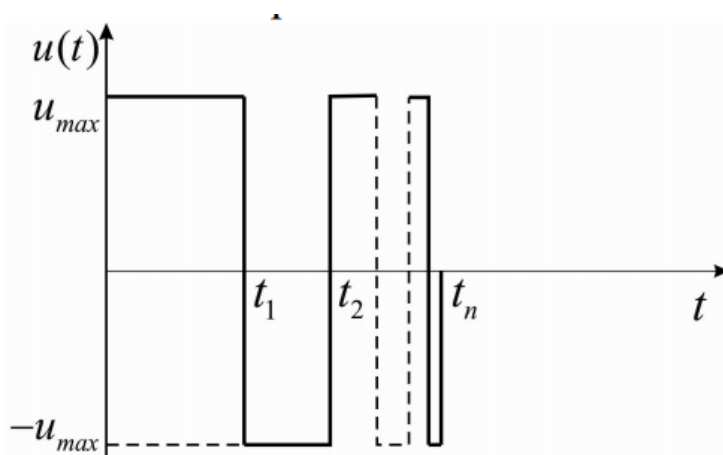


Рисунок 2 – Форма сигнала оптимального управления

### Выводы

Применение РКУ, реализующее управление рулевой машиной с помощью теории об  $n$ -интервалах обеспечивает существенное увеличение быстродействия системы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. В.Н. Захарченко, В.С. Луковцев, В.А. Шевченко. Повышение быстродействия системы управления судном при больших отклонениях курса. Судовождение вып.16. ОНМА 2009. – С. 87-90.
2. Фельдбаум А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем. М., Физматгиз, 1963. - 120 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЯКОРНО-ШВАРТОВОГО УСТРОЙСТВА С ПОМОЩЬЮ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

С.Ф. Самонов, к.т.н., доцент

М.В.Ковалёва, курсант

Одесская национальная морская академия

Якорно-швартовное устройство предназначено для удержания, а также небольших перемещений судна в заданной точке стоянки на рейде или у причала с помощью якоря либо швартовных тросов. В состав современных якорно-швартовных устройств (ЯШУ) входит: двигатель, редуктор и размещенные на грузовом валу цепная звездочка, турачки и швартовные барабаны [7].

По мере роста уровня механизации операций и энерговооруженности судов в качестве двигателя якорно-швартовного устройства применялись: паровые машины, электродвигатели постоянного тока с контакторным управлением, электродвигатели переменного тока с фазным ротором, система генератор – двигатель (Г-Д). В современных якорно-швартовных устройствах широко распространен гидропривод с асинхронным короткозамкнутым двигателем (АД) для привода насосов, а также 2-х и 3-х скоростные полюсопереключаемые двигатели [8].

С развитием микроэлектроники и микропроцессорной техники, применительно к электроприводу, одной из тенденций в развитии системы управления электродвигателем якорно-швартовного устройства стало оснащение контакторной магнитной станции полюсопереключаемого двигателя программно-логическим контроллером (ПЛК). Характерным примером является автоматизированные с дистанционной отдачей якоря ЯШУ фирм: NATLARA, McGregor, RAUMA. В таком варианте применения ПЛК осуществляет контроль, функции защиты, сигнализации и диагностирование электродвигателя и контакторной части в реальном времени.

Специфика электропривода ЯШУ вытекает из особенностей характера нагрузки и заключается, согласно требований Регистра в следующем.

Привод ЯШУ должен обеспечивать непрерывное выбирание якорной цепи, при номинальном тяговом усилии, со скоростью не менее 10 м/мин в течение не менее 30 мин. После 30 мин работы при номинальной нагрузке электропривод должен обеспечивать возможность стоянки под током электрического двигателя при номинальном напряжении в течение не менее 30 с. Пусковой момент привода должен создавать тяговое усилие на звездочке при неподвижной якорной цепи не менее двукратного номинального тягового усилия [10]. При втягивании якоря в клюз рекомендуется скорость 7м/мин. Для отрыва якоря от грунта привод должен обеспечить в течение 2 мин создание в цепи тягового усилия не менее 1,5 расчетного без какого-либо требования к скорости.

Максимальный момент выбранного двигателя должен соответствовать не более 1/3 разрывной нагрузки якорной цепи.

При выборе механизма и расчете мощности якорного устройства определяющим является режим его работы при снятии судна с якоря [11]. Условно такой режим можно разделить на следующие периоды: выбирание цепи с грунта ( $t_1$ ); подтягивание судна к якорю и отрыв якоря от грунта ( $t_2, t_3$ ); выбирание висящей цепи с якорем ( $t_4$ ); втягивание якоря в клюз ( $t_5$ ) (см. рис.1).

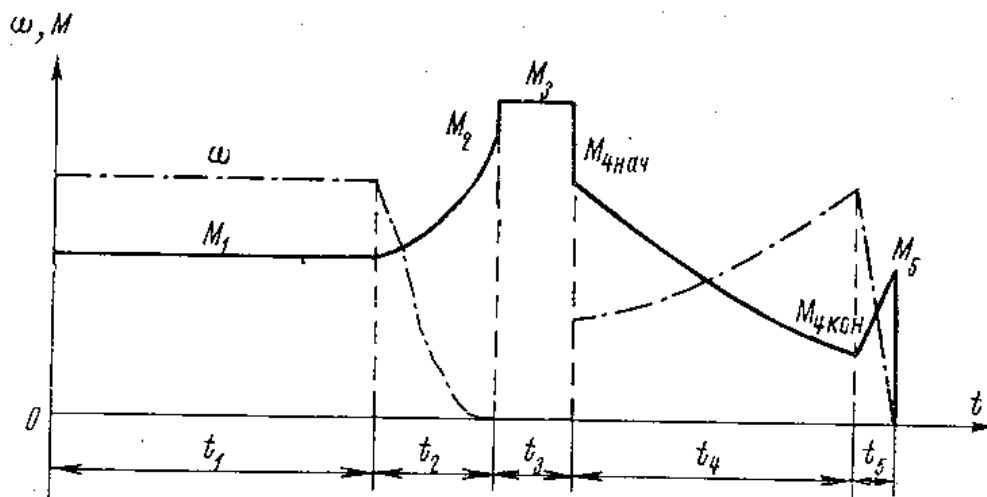


Рисунок 1- Нагрузочная характеристика ЯШУ

С учетом мощности двигателя переменного тока ориентируются на его пусковой момент, который с учетом снижения напряжения на 10% должен быть больше момента при отрыве якоря от грунта на 25%.

Одним из вариантов удовлетворить вышеперечисленным требованиям до недавнего времени было применение системы генератор-двигатель (Г-Д) или АД с фазным ротором. Существенными недостатками этих систем, наряду с прочими, является сложность, громоздкость и низкий КПД [8]. Поэтому в современных ЯШУ с электроприводом отдано предпочтение АД с короткозамкнутым ротором благодаря простоте и надежности его конструкции, возможности непосредственного подключения к промышленным силовым сетям, наличию стандартных типоразмеров. Однако специфические свойства отдельно взятого АД стандартного исполнения не позволяют получить набор необходимых характеристик.

ЯШУ предъявляют к электроприводу самые жесткие требования:

- поддержание максимального момента на валу практически при нулевой частоте вращения;
- управление частотой вращения в обоих направлениях (выборка/вытравливание, подъем/опускание);
- регулирование момента на валу с высокой точностью во всем рабочем диапазоне;
- пуск и торможение полностью нагруженного механизма.

Учитывая перечисленные требования представляется весьма перспективным использование в ЯШУ и лебедках различного назначения частотных прео-

бразователей, что подтверждает успешный опыт их эксплуатации в подобных механизмах.

Частотное регулирование по сравнению с другими способами имеет ряд преимуществ [3]. Регулирование возможно осуществить без потерь скольжения с плавным изменением скорости при формировании необходимых механических характеристик.

В наиболее распространенном частотно регулируемом приводе на основе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором применяются **скалярное и векторное частотное управление**.

В существующих преобразователях частоты при скалярном управлении чаще всего поддерживается постоянное отношение максимального момента двигателя к моменту сопротивления на валу. То есть при изменении частоты амплитуда напряжения изменяется таким образом, что отношение максимального момента двигателя к текущему моменту нагрузки остается неизменным. Это отношение называется перегрузочной способностью двигателя.

При постоянстве перегрузочной способности номинальные коэффициент мощности и к.п.д. двигателя на всем диапазоне регулирования частоты вращения практически не изменяются, а зависимость напряжения питания от частоты определяется характером нагрузки на валу АД. Для постоянного момента нагрузки поддерживается отношение  $U/f = \text{const}$ , и, по сути, обеспечивается постоянство максимального момента двигателя. Вместе с тем на малых частотах, начиная с некоторого значения частоты, максимальный момент двигателя начинает падать [12]. Для компенсации этого и для увеличения пускового момента используется повышение уровня напряжения питания.

В случае вентиляторной нагрузки реализуется зависимость  $U/f^2 = \text{const}$ . При регулировании в области малых частот максимальный момент также уменьшается, но для данного типа нагрузки это некритично.

Используя зависимость максимального крутящего момента от напряжения и частоты, можно построить график  $U$  от  $f$  для любого типа нагрузки.

Скалярное управление достаточно для большинства практических случаев применения частотно регулируемого электропривода с диапазоном регулирования частоты вращения двигателя до 40 : 1 (для ЯШУ - 5:1[8]).

Векторное управление позволяет независимо и практически безынерционно регулировать скорость вращения и момент на валу электродвигателя. Векторное управление в сравнении со скалярным обладает более высокой производительностью [2, 4]. Векторное управление избавляет практически от всех недостатков скалярного управления.

Существует несколько разновидностей векторного управления, из которых наиболее широко используется прямой контроль момента (DTC - direct torque control)[9].

В схеме метода прямого контроля момента (DTC) не требуется преобразования систем координат и измерения положения и скорости. Эта схема содержит оценщик момента и поля статора, гистерезисные компараторы момента и поля, таблицу включения и инвертор. Принцип метода DTC заключается в выборе вектора напряжения для одновременного управления и моментом и по-

лем статора. Токи статора и напряжение инвертора измеряются и используются для оценки поля и момента. Оцененные величины момента и поля сравниваются с заданными значениями с помощью гистерезисного компаратора, после чего сигнал с выхода компараторов подается на таблицу включения для того, чтобы выбрать подходящие вектора напряжения в каждый период дискретизации [4].

Недостатком классического метода прямого контроля момента (DTC) является наличие высоких пульсаций тока и момента в установившемся состоянии. Проблема устраняется повышением рабочей частоты инвертора выше 40кГц, что увеличивает общую стоимость системы управления.

Предполагаемым результатом настоящей работы является улучшение технико-экономических показателей модифицированного электропривода ЯШУ на базе частотного управления АД. Для исследования динамических режимов ЯШУ в процессе снятия судна с якоря будет создана имитационная модель в среде прикладного программного компьютерного обеспечения.

Основной рабочей гипотезой является допущение о возможности получения требуемых оптимизированных характеристик электропривода с частотным преобразователем. В процессе исследований предполагается уточнить метод управления и область оптимальных настроек частотного преобразователя в электроприводе ЯШУ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чиняев И.А. Судовые вспомогательные механизмы. – М.: Транспорт, 1989. – 295 с.
2. Усольцев А.А. Векторное управление асинхронными двигателями. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2002. – 43 с.
3. Горбань Р. Н. Современный частотно-регулируемый электропривод. – Санкт – Петербургская Электротехническая Компания, 2002. – 94 с.
4. Рудаков В.В., Столяров И.М., В.А. Дартау В.А.. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. - Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 136 с.
5. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высш.шк., 2001. – 327с.
6. Радимов С.Н. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод. – Одесса, уч.пос.,2007. – 31с.
7. Судовые машины, установки, устройства и системы [Текст] : учеб.для высш. мор. учеб. заведений / В. М. Харин [и др.] ; ред. В. М. Харин ; М-во образования и науки Украины, Одес. нац. мор. акад. - Одесса : Фенікс ; М. : ТрансЛит, 2010.
8. Михайлов В.А., Рукавишников С.Б., Фрейдзон И.Р. Электродвижение судов и электропривод судовых механизмов. – Л.: Судостроение, 1965. – 608 с.
9. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Теория электропривода. – Минск: Техноперспектива, 2004. – 528 с.
- 10.Будашко В.В. Судовые автоматизированные электроприводы: Конспект лекций. – Одесса: ОНМА, 2007. – 220 с.
- 11.Локарев В.И. Судовые автоматизированные электроприводы: Учеб. Пособие. – Николаев: УГМТУ, 2002. – 160 с.
12. <http://www.twirpx.com/file/929152/>
- 13.<http://www.allbest.ru/referat-197877.html>



## ДОСЛІДЖЕННЯ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

І.М.Гвоздева, д.т.н., професор  
С.В.Кучмій, курсант  
Одесская национальная морская академия

Суднові електроенергетичні системи (СЕЕС) більшості суден автоматизовані. Подальший розвиток СЕЕС спрямований на застосування в їх складі мікропроцесорних систем автоматичного керування (САК) режимами роботи суднових механізмів, автоматичного пошуку несправностей та захисту від аварій з локалізацією несправних ділянок. Вдосконалення СЕЕС у вказаних напрямках пов'язане із створенням методів та алгоритмів дослідження процесів в СЕЕС при виході з ладу тих або інших елементів. Це дозволить вибрати критерії пошуку несправностей, оцінити міру небезпеки різних видів відмов, визначити необхідні властивості і характеристики датчиків стану, інших елементів захисту і діагностики. Дослідження процесів при відмовах елементів САК значно підвищує ефективність обслуговування СЕЕС.

Динамічним процесам в СЕЕС при виникненні аварійних ситуацій присвячено ряд літературних джерел [1–3]. У роботі [2] розглянуто наслідки несправності, які виникли в ході роботи СЕЕС та були причинами відсутності належного автоматичного захисту системи, що призвело до невчасного переходу на аварійне управління кермом. В статті [3] приводиться приклад аварійної ситуації, з якої екіпаж був змушений виводити СЕЕС в нормальний режим роботи вручну, що свідчить про недостатність впровадження модернізації цієї системи.

Усунення аварійних ситуацій в СЕЕС та подальша технічна модернізація САК та елементів СЕЕС сучасних суден потребує більш глибокого дослідження та аналізу перехідних процесів, які виникають при аварійних ситуаціях, що може бути досягнуто шляхом математичного та комп'ютерного моделювання із застосуванням сучасних програмних засобів.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Електронний ресурс: <http://tekhnosfera.com/issledovanie-perehodnyh-protsesov-v-avariynyh-rezhimakh-sudovoy-elektroenergeticheskoy-sistemy>.
2. Луковцев В.С. Технические причины аварии теплохода “Лубны” / В.С. Луковцев // Судовождение. – Одесса: Латстар, 2001. – Вип. 4. – С. 58–63.
3. Луковцев В.С. Аварийное отклонение частоты в судовой электросети. / В.С. Луковцев // Судостроение. – Одесса, 2004. – № 7-8. – С. 25.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ В УСЛОВИЯХ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА РАБОТЫ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА**

И.М. Гвоздева, д.т.н., профессор  
В.В. Демиров, курсант  
Одесская национальная морская академия

Основным источником электроэнергии в судовых электроэнергетических станциях (СЭЭС) являются синхронные генераторы (СГ). Обеспечение надежности эксплуатации СЭЭС в аварийных режимах, в частности, при переходе одного из генераторов в асинхронный режим, является одной из актуальных прикладных задач.

Асинхронный режим работы СГ возникает, как правило, при потере возбуждения вследствие повреждений в системе возбуждения, а также при выпадении машины из синхронизма в результате коротких замыканий в сети. При потере возбуждения с уменьшением тока возбуждения уменьшается тормозной электромагнитный момент СГ, при некотором значении тока возбуждения этот момент оказывается меньше вращающего момента привода СГ и генератор выпадает из синхронизма [1]. В асинхронном режиме СГ потребляет из сети большую реактивную мощность для намагничивания. Поэтому напряжение на выводах генератора и в сети снижается.

Продолжительный асинхронный режим со значительной активной нагрузкой является опасным режимом, так как увеличенный реактивный ток статора может вызвать повышенный нагрев, как самой обмотки статора, так и крайних пакетов стали статора. Кроме того, токи, наводимые в роторе, имеют повышенную частоту и в большей степени вытесняются на поверхность ротора. В связи с этим увеличивается нагрев ротора, особенно его торцов, где замыкаются наведенные токи. Поэтому продолжительность такого режима ограничена.

При переходе одного из СГ в асинхронный режим в СЭЭС могут возникать такие процессы, как колебания активной и реактивной мощностей, при которых ток статора может в несколько раз превышать номинальный.

Исследование особенностей асинхронного режима СГ и установление рациональных способов восстановления нормальных режимов работы СЭЭС имеет существенное теоретическое и практическое значение.

Асинхронный режим работы СГ в энергосистеме, его характеристики, причины возникновения, способы выявления рассмотрены в [2]. Работы [3,4] посвящены особенностям эксплуатации судовых электроэнергетических систем, в том числе автоматизированных, и их элементов. В [5] рассмотрены причины опасности асинхронного режима СГ. Работы [6,7] посвящены построению компьютерных моделей, позволяющих исследовать переходные процессы в СЭЭС с параллельно работающими генераторами. Асинхронный режим в СЭЭС является одним из самых сложных аварийных режимов, при котором возможно по-

вреждение оборудования, происходит нарушение электроснабжения потребителей и нежелательное развитие аварийного процесса с возможными тяжелыми последствиями для электроэнергетических объектов [8]. Поэтому задачи, связанные с моделированием динамических процессов в СЭЭС при выпадении одного из СГ из синхронизма, требуют детального рассмотрения с учетом конфигурации конкретных СЭЭС.

Целью настоящей работы является исследование динамических процессов, возникающих при асинхронном режиме работы одного из синхронных генераторов в составе судовой электроэнергетической системы контейнеровоза вместимостью 3400 контейнеров на основе проведения экспериментальных исследований, математического и компьютерного моделирования.

Предметом проведенных экспериментальных исследований являются электроэнергетические процессы, возникающие при параллельной работе двух СГ типа АПТ-2,5-50 и переходе одного из генераторов в асинхронный режим в результате обрыва обмотки возбуждения (ОВ). В результате проведенной серии экспериментов получены осциллограммы напряжений на выходах обоих генераторов, распределения активной и реактивной мощностей, а также напряжения в ОВ до и после ее обрыва.

Дальнейшие направления исследований заключаются в проведении компьютерного моделирования динамических процессов в СЭЭС контейнеровоза вместимостью 3400 контейнеров с учетом математических моделей ответственных потребителей электроэнергии и исследовании на этой основе процессов в данной системе при переходе одного из генераторов в асинхронный режим, в сопоставлении с экспериментальными данными.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Электрическая часть станций и подстанций / Под. ред. А.А.Васильева. – М.: Энергия, 1980. – 608 с.
2. Мелешкин Г.А., Меркурьев Г.В. Устойчивость энергосистем. Книга 1. – СПб, 2006. – 289с.
3. Яковлев С.Г. Судовые электроэнергетические системы. – М.: Транспорт, 1988. – 223 с.
4. Эксплуатация электроэнергетических систем морских судов: Справочник / О.П. Хайдуков, А.Н. Дмитриев, Г.Н. Запорожцев. – М.: Транспорт, 1988. – 223 с.
5. Эксплуатация генераторов и синхронных компенсаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.motor-remont.ru/books...](http://www.motor-remont.ru/books...)
6. Толстов А.А., Лещенко В.В., Логвиненко Е.С. Параллельная работа синхронных генераторов с возможностью регулирования коэффициента мощности // Судовые энергетические установки. – Одесса, 2008. – Вып.22. – С. 54–66.
7. Геллер Б.Л., Сулименко Н.В. Моделирование параллельной работы судовых синхронных генераторов в пакете VisSim // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2010. – № 18. – С. 160–166.
8. Совалов С.А., Семенов В.А. Противоаварийное управление в энергосистемах. М.: Энергоатомиздат, 1988, – 416 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СУДОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ТРАСС**

В.Г. Донской, к.т.н., доцент

А.В. Колос, курсант

Одесская национальная морская академия

В современном мире с развитием технологий и прогресса, все больше увеличивается количество электрических машин и установок. Надежная и бесперебойная работа является одним из важных параметров СЭЭС. Для обеспечения такой работы необходимо осуществлять контроль параметров этих систем, таких как напряжения на элементах системы, токи в определенных ветвях системы, сопротивление изоляции, емкость относительно земли, как всей системы, так и отдельных ее элементов. Одним из наиболее важных параметров СЭЭС с точки зрения обеспечения надежной и бесперебойной работы, является сопротивление изоляции. От сопротивления изоляции в наибольшей мере зависит пожаро- и электробезопасность. Поэтому при эксплуатации СЭЭС необходим непрерывный контроль сопротивления изоляции. Контроль сопротивления изоляции кабельных трасс отыгрывает немаловажное значение, поскольку кабели являются основными проводниками напряжения от источника к потребителю, поэтому проблема непрерывного контроля является весьма актуальной. Зная падение сопротивления изоляции можно предотвратить выход из строя не только кабеля, а и питающегося от него потребителя, который может привести к серьезной аварии.

Поставленные задачи решались путем анализа существующих методов контроля сопротивления изоляции и обнаружения места поломки и в дальнейшем усовершенствование их. Изучив методы контроля и поиска было выявлено, что наиболее распространенным является метод наложения постоянного тока на переменный, для непрерывного контроля сопротивления изоляции судовых кабельных трасс. Но метод поиска обнаружения неисправности в основном использовался один, поочередное отключение потребителей. Изучив методы поиска неисправностей кабелей на берегу, было принято решение об изменении и внедрении одного из них. Самым распространенным является метод прослушивания кабеля переносным прибором, но в связи с судовыми условиями это не практично и не эффективно, по этому решение было следующим – установка стационарных устройств прослушивания кабелей, тем самым разбивая их на участки, после чего можно с легкостью определить место поломки.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1.<http://energochast.ru/useful-to-know/metody-kontrolya-kachestva-i-sostoyaniya-izolyatsii/>
- 2.<http://www.findpatent.ru/patent/214/2145421.html>

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С УКРМ

С.А. Дудко, ассистент

Одесская национальная морская академия

Качество системы управления представляет собой комплексную оценку ее работы, включающую устойчивость, точность и быстродействие.

Качество работы системы стабилизации напряжением судовой электростанции определяется величиной ошибки, равной разности между требуемым  $U_n$  и действительным  $U_m$  значениями стабилизируемого напряжения:

$$\Delta u(t) = U_n - U_m(t). \quad (1)$$

Для исключения несовпадения экстремальных точек для разных критериев в области настроечных параметров и упрощения процесса оптимизации выберем комплексный (интегральный) критерий, учитывающий все показатели переходного процесса.

В качестве такого критерия выберем функционал  $I = \int_0^{\infty} |\Delta u(t)| dt$ , величина которого связана с площадью под кривой отклонения напряжения от номинального значения в течение переходного процесса, [1].

Напряжение генератора наиболее детально характеризуется изображающим вектором напряжения и его модулем:

$$|\bar{U}_m(k \cdot \Delta t)| = \sqrt{u_{\alpha}^2(k \cdot \Delta t) + u_{\beta}^2(k \cdot \Delta t)}. \quad (2)$$

Среднее напряжение вычисляется один раз за период как среднее арифметическое модуля вектора напряжения на каждом шаге решения:

$$U_{cp}(nT_0) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |\bar{U}_m(k \cdot \Delta t)|, \quad (3)$$

где  $N$  - количество шагов численного интегрирования за период переменного тока  $T_0$ . Выражение критерия оптимизации, характеризующего качество переходного процесса, имеет вид суммы модулей отклонений напряжения:

$$I_D = \sum_{n=1}^{E(T_{кр}/T_0)} |U_n - U_{cp}(nT_0)|, \quad (4)$$

где  $E(T_{кр}/T_0)$  - целая часть периодов  $T_0$  во времени расчета переходного процесса  $T_{кр}$ . Итак, каждому переходному процессу, рассчитываемому программой, ставится в соответствие критерий качества  $I_D$  (4). Чем меньше величина

$I_D$ , тем лучше переходной процесс, рис.1. Поэтому задача оптимизации регулятора напряжения сводится к поиску минимума критерия качества в области параметров его настроек  $k_{ni}$ . Выражение  $I_D$  не содержит в явном виде времени переходного процесса, однако зависит от него через количество суммируемых через равные промежутки времени  $T_0$  отклонений напряжения. Время  $T_{кр}$  выбирается так, чтобы переходной процесс закончился, рис.1. и 2. Значение суммы  $I_D$  рассчитывается на каждом шаге интегрирования системы дифференциальных уравнений моделируемой системы и с течением времени переходного процесса монотонно увеличивается. При приближении переходного процесса напряжения к своему установившемуся значению

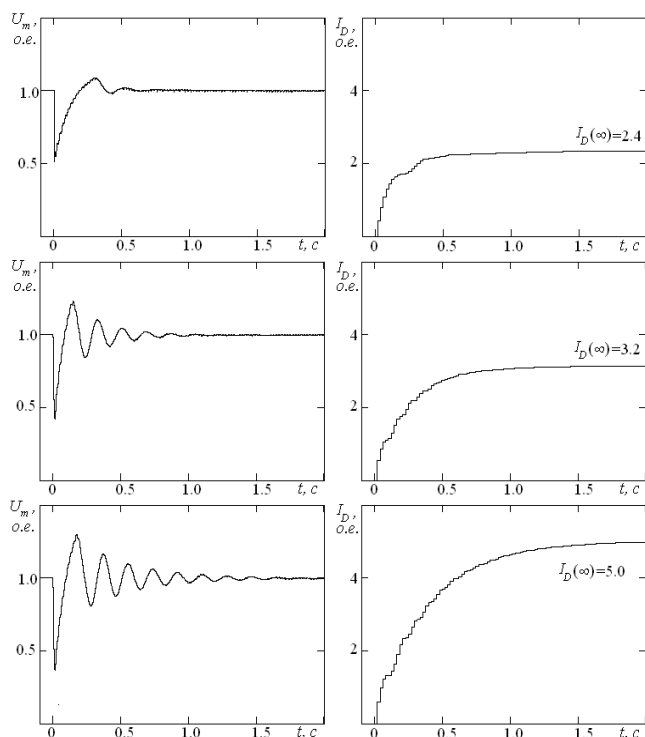


Рисунок 1 – Расчет дискретного интегрального критерия качества  $I_D$  переходного процесса напряжения генератора при включении нагрузки

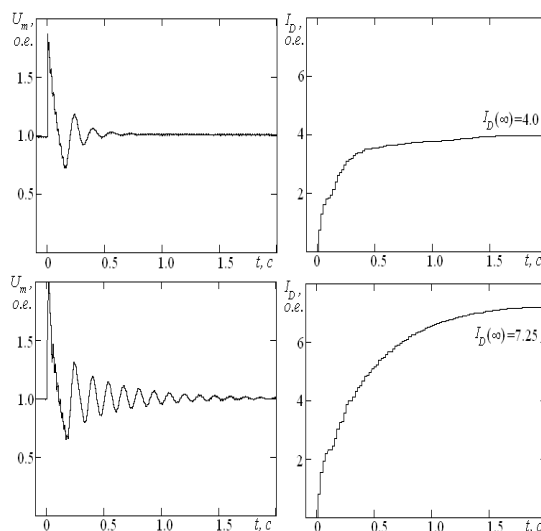


Рисунок 2 – Расчет критерия качества  $I_D$  при отключении нагрузки

$U_m(\infty)$  показатель качества от шага к шагу увеличивается с меньшей скоростью, рис. 1. и 2. При  $t \rightarrow \infty$  сумма  $I_D$  стремится к установившемуся значению  $I_D(\infty)$ , которое и будет оценкой качества переходного процесса. Так, на рис. 1. переходным процессам  $U_m(t)$  соответствуют значения функционала  $I_D(\infty) = 2.4$ ,  $I_D(\infty) = 3.2$  и  $I_D(\infty) = 5.0$ , а на рис. 2. -  $I_D(\infty) = 4.0$  и  $I_D(\infty) = 7.25$ .

Т.о., дискретный критерий качества (3.12) является дискретным аналогом непрерывного интегрального критерия качества (3.11),  $I = \int_0^{\infty} |\Delta u(t)| dt$ .

Величина інтегрального критерія якості залежить від параметрів електроустановки і настроєчних параметрів регулятора  $k_{ni}$ , а також від величини і характеру комутуваної навантаження і компенсуючої ємкості.

По виду перехідних процесів комутації 50 % номінальної активно-індуктивної навантаження з  $\cos\varphi=0.7$  на рис. 3.5 і 3.6 і відповідуючих їм значень функціонала можна заключити, що прийнятними по колибательності будуть процеси при  $I_D(\infty) < 2.5 \dots 3.0$  для включення навантаження і  $I_D(\infty) < 3.5 \dots 4.0$  - при відключенні навантаження.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вишневіський Л.В., Веретенник А.М., Муха Н.И. Критерії оптимальності налаштувань цифрових регуляторів збудження генераторних електроустановок // Електромашинобудування та електрообладнання. – К.: Техніка, 2002. – Вип. 59. – С. 50 – 55.
2. Вишневіський Л.В., Муха Н.И., Веретенник А.М. Якість перехідних процесів в імпульсних системах стабілізації напруги судових дизель генераторів // Автоматизація судових технічних засобів. – Одеса: ОГМА, 2002. – Вип. 7. – С. 13 – 18.

УДК 629.016:51-74

## МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПОТУЖНІСТЮ І ОБЕРТАЮЧИМ МОМЕНТОМ ПІДРУЛЮЮЧОГО ПРИСТРОЮ ПІД ЧАС ПОЗИЦІОНУВАННЯ СУДЕН

В.В.Будашко, докторант  
Д.О.Гончаренко, магістр,  
Одеська національна морська академія

Математичне моделювання процесів передачі потужності до двигунів в судових енергетичних установках (СЕУ) комбінованих пропульсивних комплексів (КПК) є одним з найбільш актуальних завдань наукових досліджень сучасності.

Для гвинтів фіксованого кроку (ГФК) взаємодії між силою поштовху, упором і потужністю створюються на підставі діаграми вільної води і наступних рівнянь динаміки щодо частоти обертання валу і діаметра гвинта [1]. Також, для моделювання втрат гребного гвинта, викликаних осьовим припливом води [2], треба враховувати кілька інших ефектів, які сприятимуть зменшенню тяги гвинта і крутного моменту, таких як:

– надходження води перпендикулярно до осі гребного гвинта, викликане плинком від швидкості судна або потоків з інших двигунів з силою в напрямку припливу через відхилення потоку гвинта. Це часто називають крос-поєднанням опорів;

– наявність кавітації для важких навантажень на гвинти (всмоктування повітря) веде до зменшення тиску на лопаті гвинта і може статися під час малого занурення гвинта за рахунок руху судна поперек хвилям;

– екстремальні умови з великими амплітудами руху судна перпендикулярно поверхні води призводить до раптового падіння тяги й крутного моменту з ефектом гістерезису;

– одночасне зниження тяги і зміна напрямку тяги може статися через взаємодії потоку від підрулюючого пристрою (ПП) з корпусом, викликаного ефектами тиску, коли тяга ПП проноситься вздовж корпусу. Це згадується як ефект Коанда;

– втрата упору ПП може бути викликана впливом гребного потоку від одного двигуна на сусідні двигуни, і привести до значного зниження тяги, якщо відповідні заходи не будуть прийняті в алгоритмі розподілу упорів на ПП.

Чутливість СЕУ КПК до різних втрат залежить від типів використовуваних гвинтів і двигунів, застосуванням різних стабілізаторів в конструкції корпусу судна і оперативних принципів зміни алгоритмів управління залежно від експлуатаційних умов.

Діючі значення упору і моменту гвинта розраховуються з наступних співвідношень:

$$\begin{aligned} T_d &= h_T(n, x, \theta)(1-t)T_p = f_T(n, x, \theta), \\ Q_d &= h_Q(n, x, \theta)Q_p = f_Q(n, x, \theta), \end{aligned} \quad (1)$$

де  $x$  представляє динамічні параметри рухомого судна під впливом занурення гвинта і умов навколишнього середовища.

Потужність двигуна ПП визначається за формулами:

$$\begin{aligned} P_d &= \omega T_d = 2\pi n T_d, \\ P_p &= \omega T_p = 2\pi n T_p. \end{aligned} \quad (2)$$

Вирази для розрахунку упору гвинта в залежності від потужності на його валу:

$$T_d = \operatorname{sgn}(n) \frac{\rho^{1/3} \cdot D^{2/3} \cdot K_T \cdot h_T(1-t)}{(2\pi \cdot K_Q \cdot h_Q)^{2/3}} P_d^{2/3}, \quad (3)$$

$$T_d = \frac{K_T}{K_Q D} \cdot Q_d.$$

Управління моментом є невід'ємною частиною теорії більшості прикладних схем регулювання швидкості систем електроприводів. Обертаючий момент регулюється за допомогою вимірювання струмів двигуна і розрахунку потоку з високою точністю і пропускну здатністю. Теоретично час наростання обертаючого моменту в ПЧ з ШІМ обмежується індуктивністю двигуна (в залежних інверторах струму, – *Load Commutated Inverters, LCI*, – з ланкою постійного струму) [3]. Таким чином, передатну функцію контролера моменту можна вважати еквівалентною з:

$$Q_p(s) = \frac{1}{(1 - t_{\text{ПЧ}}s)} Q_d(s), \quad (4)$$



При застосуванні ГФК регулятор швидкості використовується для забезпечення упору гвинта. Завдання швидкості гвинта  $n_{ref}$  знаходиться зі стандартної функції:

$$n_{ref} = g_{n0}(T_{ref}) = \text{sgn}(T_{ref}) \sqrt{\frac{T_{ref}}{\rho \cdot D^4 \cdot K_{T0}}}, \quad (5)$$

яка є зворотною для номінальної вентиляторної характеристики для  $K_{T0} = K_T$  ( $J = 0$ ).

Стратегія управління моментом полягає в заміні зовнішнього контуру зворотного зв'язку по швидкості петлею контролю обертаючим моментом за допомогою функції розрахунку моменту з уставкою  $Q_p$ , що розраховується виходячи з  $Q_{ref}$  як похідної від стандартної функції:

$$Q_{ref} = g_{T0}(T_{ref}). \quad (6)$$

Звідси, після підстановки, одержимо:

$$Q_{ref} = \rho \cdot D^5 \cdot K_{Q0} \cdot |n_{ref}| \cdot n_{ref}, \quad (7)$$

де  $K_{Q0} = K_Q$  ( $\lambda = 0$ ). Тоді співвідношення між осьовим упором і моментом буде мати вигляд:

$$Q_{ref} = \frac{DK_{Q0}}{K_{T0}} T_{ref} = g_{T0}(T_{ref}). \quad (8)$$

Обертаючий момент також повинен бути обмеженим максимальною потужністю, яка визначається гіперболічними граничними залежностями обертаючого моменту від швидкості. За допомогою цього методу обмеження потужності стає швидким і точним.

Альтернативною стратегією управління ПП з вентиляторною характеристикою на валу є управління на основі регулювання потужності. Контур управління обертаючим моментом залишається, але завдання упору замінюється завданням потужності  $P_{ref}$ , яке відповідає значенню обертаючого моменту. Знаходимо співвідношення між заданим осьовим упором і потужністю:

$$P_{ref} = g_p(T_{ref}) = \text{sgn}(T_{ref}) \frac{2\pi \cdot K_{Q0}}{\sqrt{\rho \cdot D \cdot K_{T0}^{3/2}}} |T_{ref}|. \quad (9)$$

Для зіставного аналізу різних схем управління необхідно визначити найбільш значимі властивості управління швидкістю, контролю обертаючим моментом і управління потужністю. Припустимо, що швидкість обертання валу дорівнює заданій швидкості  $n_{ref}$  в сталому режимі. Тоді, залежність між фактичною тягою гвинта і заданою має вигляд:

$$T_d = h_T(n, x, \theta)(1-t) \frac{K_T}{K_{T0}} T_{ref} = s_n(x, \theta) T_{ref}. \quad (10)$$

З урахуванням подібного принципу управління крутним моментом, передбачається, що крутний момент двигуна і гребного гвинта дорівнює завданням моменту  $Q_{ref}$  в сталому режимі, тому:

$$T_d = \frac{h_T(n, x, \theta)(1-t)}{h_Q(n, x, \theta)} \frac{K_{Q0}}{K_Q} \frac{K_T}{K_{T0}} T_{ref} = s_Q(n, x, \theta) T_{ref}. \quad (11)$$

Аналогічно, для схем управління потужністю для гвинта і двигуна, як правило, потужність дорівнює  $P_{ref}$  в сталому режимі, тому:

$$T_d = \frac{h_T(n, x, \theta)(1-t)}{h_Q^{2/3}(n, x, \theta)} \left( \frac{K_{Q0}}{K_Q} \frac{K_T}{K_{T0}} \right)^{2/3} \cdot T_{ref} = s_p(n, x, \theta) T_{ref}. \quad (12)$$

Ефективність позиціонування для різних схем управління буде аналізуватися шляхом побудови віртуальних моделей СЕУ КПК в *MATLAB/SIMULINK* з подальшим порівнянням результатів з реальними характеристиками ходових випробувань ПП різних конструкцій.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Woud H.K., Stapersma D.. Design of propulsion and electric power generation systems / H.K. Woud, D. Stapersma // IMarEST publications: London. – 2003. – 494 p.
2. Oosterveld M. W. C., van Oossanen P. Further computer-analyzed Data of the Wageningen B-screw Series / M. W. C. Oosterveld, P. van Oossanen // Int. Shipbuilding Progress, Vol. (22), pp. 251-262.
3. Будашко В.В. Комп'ютерне моделювання багаторівневого перетворення електроенергії допоміжної гребної енергетичної установки / В.В. Будашко // Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю “Проблеми автоматизації та електрообладнання транспортних засобів (ПАЕТЗ-2007)”. – Миколаїв: НУК. – 2007, С. 27–32.

УДК 629.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСА С ВИНТАМИ ПРОТИВОПОЛОЖНОГО ВРАЩЕНИЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗА ВМЕСТИМОСТЬЮ 15000 КОНТЕЙНЕРОВ.

В. В. Будашко, к.т.н., доцент  
И. С. Макаренко, курсант  
Одеська національна морська академія

В связи с постоянным ростом мировой торговли также растет и нужда в перевозках грузов на большие расстояния и на высоких скоростях. Это означает увеличение числа контейнеровозов. Постройка пропульсивных комплексов контейнеровозов, рассчитанных на число 15000 и более двадцати-футовых эквивалентов, используя существующие технические решения для энергоустановок, является проблематичной. Наибольший малооборотный дизель (МОД), строящийся сегодня, имеет 68000 кВт (95000 л. с.), что недостаточно, если целью является, - достижение судами упомянутыми выше скоростей до 25,5 узлов, т. к. требования к мощности для таких судов достигают 100 МВт (136000 л. с.). Среди всех предлагаемых решений этой проблемы, интересным есть ис-

пользования пропульсивных комплексов с винтами противоположного вращения (contra rotating propellers - CRP). Эта система интегрирует надежные МОД и установки Azipod, т.е. состоит из двух соосных гребных винтов противоположного вращения. Расположенные на одной оси, но без физической связи, бустерный винт вращается в противоположную сторону по отношению к главному винту. Нет никакой необходимости в пере руля, т. к. бустерная установка Azipod выполняет его функции. Оба винта получают питания от независимых источников, что означает высокую степень резервирования.

Преимущества CRP-системы следующие:

- эксплуатация дизельного двигателя с оптимальной нагрузкой;
- большая экономия топлива; больше грузового пространства;
- меньше отходов производства, загрязняющих окружающую среду;
- улучшенная маневренность судна, из чего следует экономия времени;

Задача исследования:

- Оптимизация управления АД в системах CRP сверх больших контейнеровозов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Будашко В.В. Підвищення ефективності передачі потужності в суднових дизельних пропульсивних комплексах. – Рукопис // Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.05 – суднові енергетичні установки. – Одеська національна морська академія, Одеса, 2006.
2. Петрушин В.С. Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе, Одесса 2006.
3. Материалы компании АВВ; работы сотрудников «ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова».
4. Герман-Галкин С.Г. MatLab&Simulink Проектирование мехатронных систем на ПК.

УДК 629.5.065-83

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ КОНТЕЙНЕРНОГО ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ ПРИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ МЕХАНИЗМОВ

В. В. Бушер, д.т.н., профессор

С. Е. Цацурин, курсант

Одесская национальная морская академия

Механизмы горизонтального перемещения причальных и тыловых контейнерных перегружателей характеризуются относительно продолжительными переходными процессами из-за раскачивания подвешенного на канате груза. Учитывая, что операции перемещения занимают основную часть времени перегрузки контейнера и поэтому определяют производительность погрузочно-разгрузочных работ, то основным критерием оптимизации динамической системы механизма передвижения крана с подвешенным грузом рассматривается

быстродействие. Критерий оптимальности реализуется при наличии естественных и условных ограничений. Естественные ограничения отражают ограничения управляемых координат и управляющего воздействия по модулю, вытекающие собственно из свойств системы и её элементов:  $|y_i| \leq y_m, |u_i| \leq u_m$ . Условные ограничения вводятся в систему сознательно с целью обеспечения конкретных требований технологического процесса – необходимость обеспечить к концу переходного процесса успокоение груза и вертикальное расположение каната.

Одним из возможных путей оптимизации переходного процесса механизма передвижения крана и решения таким образом поставленной задачи является использование *принципа максимума Понтрягина*, который позволяет учесть ограничения на управляющие воздействия, подводимые к объекту управления, и наиболее эффективен при синтезе систем, оптимальных по быстродействию.

Но при использовании получаемых законов управления механизмами возникают сложности, обусловленные тем, что обычно невозможно точное измерение массы груза и длины подвеса, которые определяют формируемый закон управления. Кроме того, на механизмы горизонтального перемещения действуют различные возмущающие воздействия – ветер, трение. Сочетание ошибок определения параметров и возмущающих воздействий приводит к возникновению остаточных колебаний груза, амплитуда которых может быть весьма существенной.

С другой стороны, для демпфирования колебаний во многих кранах используют дополнительные подтягивающие тросы, сила натяжения которых пропорциональна скорости движения троса. Такое воздействие эквивалентно гибкой обратной связи по отклонению груза от вертикали и эффективно подавляет остаточные колебания, обусловленные как намеренными (пуск, торможение), так и случайными возмущающими внешними воздействиями. Однако время подавления раскачивания таким способом сопоставимо с одним-двумя периодами колебаний физического маятника и оказывается существенно дольше оптимальных законов управления механизмами с подвешенным грузом.

Возникает желание объединить оптимальные законы управления с использованием подтягивающих тросов. Но проблема заключается в том, что действие тросов препятствуют реализации оптимальных законов.

**Целью исследования** является поиск возможного пути сочетания законов оптимального управления механизмами горизонтального перемещения подвешенного груза и системы подавления колебаний с подтягивающими тросами.

Анализ расчетной схемы механизма перемещения груза  $G$  на канате длиной  $l$  с точкой подвеса груза на тележке  $O$ , точками крепления подтягивающих тросов 1, 2 на расстоянии  $base$  от центра  $O$  (рис. 1) при движении тележки со скоростью  $v_1$  показывает, что отклонение каната от вертикали на угол  $\alpha$  и движению груза со скоростью  $v_2$  приводит к изменению длин подтягивающих тросов  $l_1, l_2$  со скоростями  $\overline{v_{l1}}, \overline{v_{l2}}$ :

$$v_{1l} = (v_1 - v_2) \cos \arctg \frac{l \cos \alpha}{base + l \sin \alpha},$$

$$v_{12} = -(v_1 - v_2) \cos \arctg \frac{l \cos \alpha}{base - l \sin \alpha}.$$
(1)

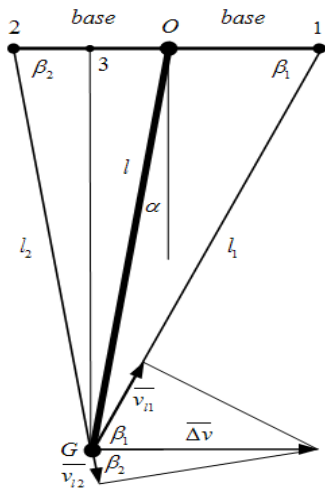


Рисунок 1 – Расчетная схема механизма горизонтального перемещения

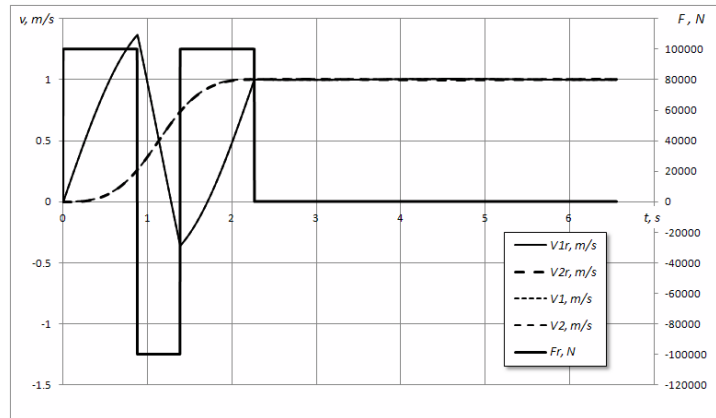


Рисунок 2 – Графики переходных процессов пуска при оптимальном управлении

Под действием приводов, подтягивающих тросы, на груз действуют дополнительные горизонтальные составляющие сил, пропорциональные разности заданной скорости подъема/спуска и скорости движения троса.

При оптимальном управлении в соответствии с принципом максимума Понтрягина механизмом без подтягивающих тросов получим приведенные на рис. 2 графики переходных процессов, из которых видно, что колебания груза по окончании разгона механизма отсутствуют, а реальные скорости  $v_{1r}$ ,  $v_{2r}$  совпадают с расчетными  $v_1$ ,  $v_2$ .

Но при ошибке определения параметров механизма (длины каната или массы груза) возникают остаточные незатухающие (!) колебания. Для их устранения и предназначены подтягивающие приводы. Но при оптимальном управлении в процессе пуска и взаимодействии с подтягивающими приводами также получим неудовлетворительный результат, так как подтягивающие тросы искажают траекторию движения груза (рис. 3) – остаточные колебания ( $\Delta s_r$ ) затухают вдвое дольше длительности процесса пуска, усилия в подтягивающих тросах большую часть переходного процесса велики и ограничены максимально допустимыми значениями даже при правильном определении параметров механизма.

Зададим скорости идеального холостого хода электроприводов подтягивающих тросов  $v_{10}$ ,  $v_{20}$  в соответствии с желаемым законом изменения угла отклонения каната от вертикали, скоростей тележки и груза. Тогда при точном соответствии фактических и расчетных параметров механизма переходный процесс совпадает с рис. 2, усилия в подтягивающих тросах отсутствуют.

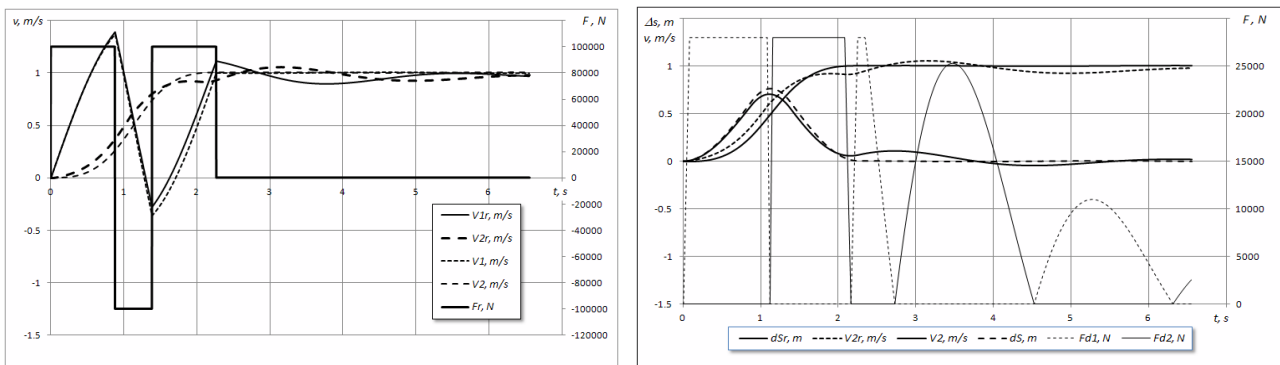


Рисунок 3 – Графики переходных процессов при реализации оптимального управления и работе подтягивающих электроприводов

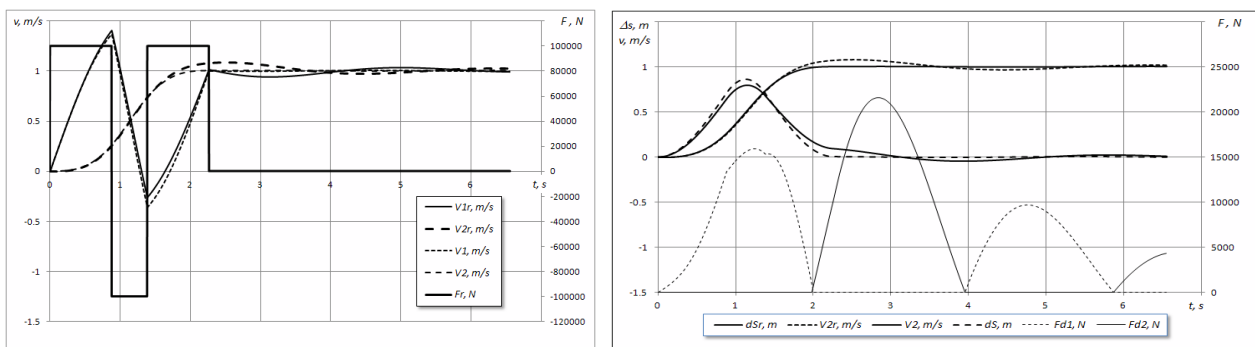


Рисунок 4 – Графики переходных процессов при согласованном управлении механизмами перемещения и подтягивания

При ошибке определения параметров получим переходные процессы, графики которых изображены на рис. 4. По сравнению с рис. 3 амплитуда остаточных колебаний уменьшена в 4 раза. Также уменьшена нагрузка приводов подтягивающих тросов как в процессе разгона тележки, так и при демпфировании остаточных колебаний.

**Выводы.** Таким образом, путем включения в систему управления наблюдателя механизма передвижения с электроприводами подтягивающих тросов и управлением скоростями идеального холостого хода этих приводов получена возможность эффективного сочетания оптимальных по быстродействию законов управления механизмом горизонтального передвижения груза и подавления колебаний, обусловленных возмущающими факторами и погрешностями определения параметров механизма.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бушер В. В., Мельникова Л. В. Анализ и сравнение различных способов демпфирования колебаний подвешенного на канате груза // Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПИ. Вып. 1/ 2000 (8) – Кременчуг: КГПИ. 2000. – С. 236–240.
2. Герасимьяк Р. П., Бушер В. В., Мельникова Л. В. Математическая модель электромеханической системы механизма передвижения крана с подвешенным грузом при оптимальном управлении // Вестник Херсонского государственного технического университета. Вып. 2(8). – Херсон: ХГТУ, 2000. – С. 74–76.
3. Математическая теория оптимальных процессов / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко. – М.: Наука, 1969. – 344 с.

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МАКЕТ ПРИЧАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ С ОПТИМАЛЬНЫМИ ЗАКОНАМИ УПРАВЛЕНИЯ

В. В. Бушер, д.т.н., профессор

Д.К. Бичев, студент

М.О.Старинков, курсант

Одесский национальный политехнический университет

Одесская национальная морская академия

Грузоподъемные краны часто являются неотъемлемой частью технологического комплекса и/или транспортно-перегрузочного потока и оказывают существенное влияние на производительность и эффективность функционирования транспортных средств и производственного оборудования в целом. При этом наиболее широким классом являются краны с гибким подвесом груза на канатах.

Одним из кранов, для которых задача демпфирования колебаний груза является наиболее важной, является контейнерный перегружатель. Позиционирование спредера для захвата контейнера невозможно без предварительного подавления колебаний.

Цель работы – разработка макетного образца причального контейнерного перегружателя типа «Ship to Shore» для изучения и испытания методов оптимального управления механизмами контейнерного перегружателя, обеспечивающими управления электроприводами технологических механизмов с максимальной производительностью, в том числе с совмещением операций горизонтального перемещения и подъема груза.

В основу предлагаемого способа положен принцип формирования угла отклонения каната от положения равновесия при пуске (торможении) по закону, при котором изменение угла отклонения происходит в три этапа:

$$\begin{cases} 1. \varphi = \varphi_m (1 - \cos(t / T_n)) \forall t < \pi T_n \\ 2. \varphi = 2\varphi_m \forall \pi T_n \leq t < \pi T_n + t_2 \\ 3. \varphi = \varphi_m (1 - \cos((t - t_2) / T_n)) \forall \pi T_n + t_2 \leq t \leq 2\pi T_n + t_2, \end{cases} \quad (2)$$

где  $T_n$  – постоянная времени, обратная угловой частоте колебаний груза,

$\varphi_m$  – половина угла максимального отклонения каната от вертикали,

$t_2$  – длительность второго этапа, которые определяются по данным механизма и электропривода.

Для обеспечения такого изменения угла  $\alpha$  скорость точки подвеса на каждом из трёх интервалов должна изменяться от начального  $V_{нач}$  до конечного  $V_{кон}$  по закону:

$$\begin{cases} 1. V_1 = V_{нач} + at - \left( aT_n - \frac{aL}{gT_n} \right) \sin\left( \frac{t}{T_n} \right) \\ 2. V_1 = V_{нач} - a\pi T_n + 2at \\ 3. V_1 = V_{нач} + a(t + t_2) - \left( aT_n - \frac{aL}{gT_n} \right) \sin\left( \frac{t - t_2}{T_n} \right), \end{cases} \quad (3)$$

где  $a = \frac{F_n}{2 \cdot (m_1 + m_2)} \cdot \varphi_m \cdot g$  – линейная составляющая ускорения на 1-м и 3-м

интервалах,  $t_2 = \frac{V_{кон} - V_{нач}}{2 \cdot a} - \pi \cdot T_n$  – длительность второго интервала,  $F_n$  – мак-

симальное движущее усилие, развиваемое приводом. Переходные процессы в механизме для этого случая показаны на рис.1 жирными линиями.

Сопоставление разработанного способа с оптимальным по принципу максимума Понтрягина показывает, что быстродействие нового метода при длине каната до 35-40 м ниже лишь на 3...5%, при большей длине – на 5...15%. Однако следует учесть, что за счёт управления скоростью механизма нет необходимости точно измерять массы  $m_1$  и  $m_2$ . Для определения величин “а” и  $T_n$  можно использовать их расчётные (паспортные) значения масс.

Основным преимуществом разработанного метода является возможность совмещения операций горизонтального перемещения и подъёма или спуска груза. Допустимость изменения длины оказалась результатом того, что, амплитуда гармонической составляющей в (2) зависит от текущего значения длины каната. Характер переходного процесса при подъёме груза со скоростью 1 м/с показан на рис.1 тонкими линиями. Очевидно, что остаточные колебания отсутствуют.

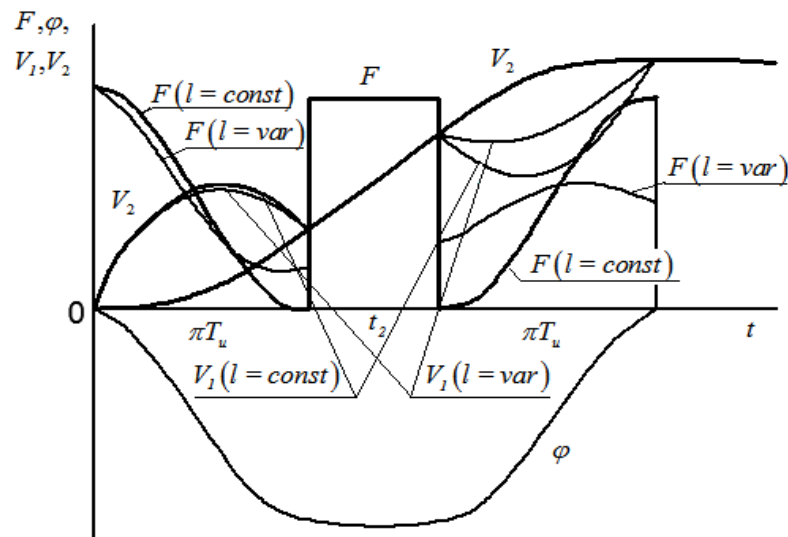


Рисунок 1 – Демпфирование колебаний груза с постоянной и изменяющейся длиной каната.

Для исследования разработанных способов подавления колебаний создан действующий макет причального перегружателя (рис.2) и программный пакет в SCADA Citect Vijeo, рабочее окно которого приведено на рисунке 3.



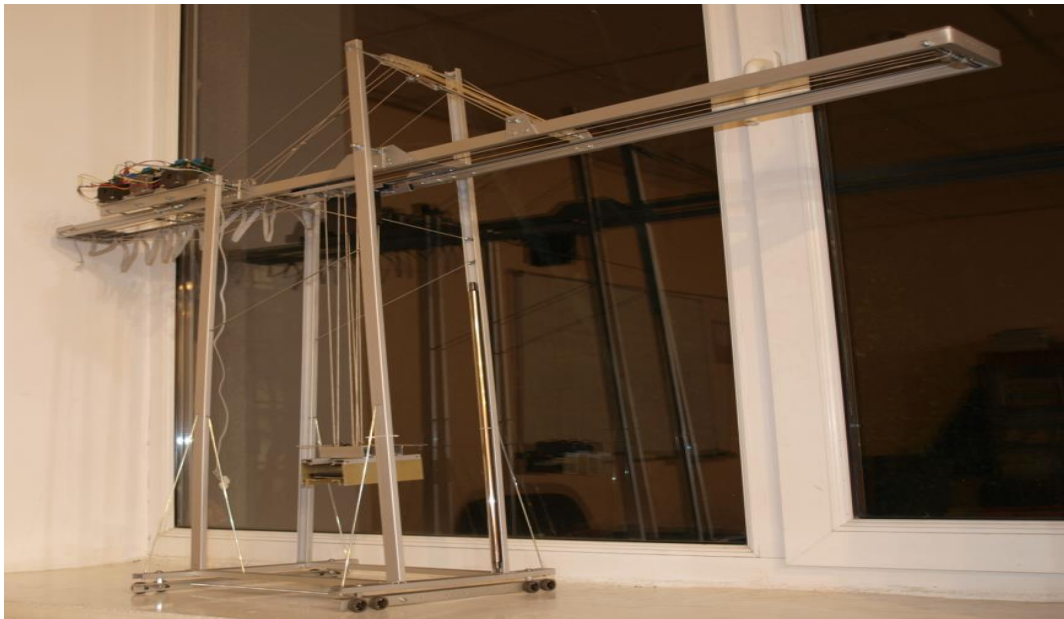


Рисунок 2 – Макет причального перегружателя (консоль опущена)

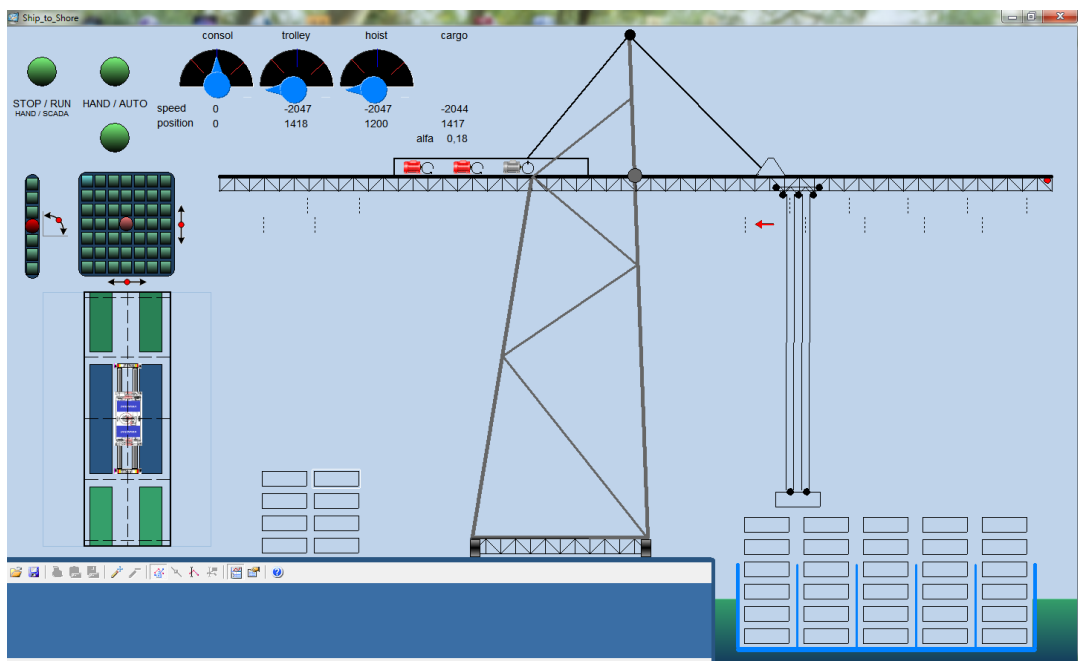


Рисунок 3 – Модель причального перегружателя в SCADA Citect Vijeo

Предлагаемые законы управления (3) основаны на изменении скорости по определенным законам, для реализации которых в макете в электроприводах использованы шаговые двигатели. Это же позволило согласовать характеристики макета с виртуальной моделью в SCADA, а также подключить макет к SCADA с помощью контроллера Schneider Electric TWIDO, а также продолжить исследования с подключенными контроллерами и электроприводами других типов Schneider Electric, Mitsubishi и т.д.

Действующий макет контейнерного перегружателя обеспечивает работу перегружателя в автономном режиме с ручным и автоматическим управлением, на его базе могут быть исследованы различные методы управления крановыми механизмами, в том числе разработанный способ демпфирования колебаний груза с согласованным управлением механизмами подъема и горизонтального

перемещения. Также можно будет расширить модель в SCADA для проверки согласованной работы не только шаговых, но и современных промышленных контроллеров и электроприводов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. № 1472417, СССР. МКи В66С 13/06. Способ управления механизма передвижения подвешенного на канате груза. Р.П. Герасимьяк В.В. Бушер
2. Повышение качества систем автоматического управления: Учеб. пособие / Р.П.Герасимьяк. – К. : УМК ВО , 1992 . – 100 с.
3. Бушер В, В. [Текст] Учебно-исследовательский макет причального контейнерного перегружателя с шаговым электроприводом / Бушер В.В., Калинин А.Г., Акшинцев Д.И., Бичев Д.В. // Электротехнические и компьютерные системы. – Одесса : Наука и Техника, 2014. – №15(91). – С. 441–444.
4. Герасимьяк Р. П. Электроприводы и системы управления крановых механизмов [Текст] : уч. пособие. Рек. УС ОНПУ 2014 г. / Р. П. Герасимьяк, В. В. Бушер, А. Г. Калинин. – Одесса. Издательство Наука и Техника, 2014. – 202 с. : рис. – Библиогр. : с. 202. – 300 экз. – ISBN 978-966-1552-50-9.

УДК 629.5.064.5

### ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ЗАСОБАМИ АКТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

А.О.Дранкова, к.т.н., доцент

С.С.Міхайков, аспірант

А.П.Новицький, магістр

Одеська національна морська академія

Системи з автономним джерелом електричної енергії, до яких відноситься суднова електромережа мають ряд особливостей в порівнянні з мережами, підключеними до єдиної енергосистеми [1]. Найістотношою відмінністю є те, що потужність автономного джерела обмежена, в той час як єдину енергосистему можна розглядати як джерело нескінченної потужності. Через обмеження потужності, вплив споживачів на параметри роботи мережі може бути істотно вище, ніж у мережах підключених до єдиної енергосистеми.

Частотно-регульований привід (ЧП) змінного струму є основним елементом, який найбільш часто використовується в судових технологічних системах, а саме в вантажних системах самовивантажуючих балкерів. ЧП є споживачем з швидко змінюваною потужністю, з нелінійної характеристикою, що вносить нелінійні спотворення в судову електромережу та впливає на якість електричної енергії [2,3]. Таким чином розробка методів та пристроїв, що знижують вплив ЧП на мережу з автономним джерелом електричної енергії, є актуальним завданням.

Мета роботи полягає в підвищенні якості електричної енергії і забезпеченні електромагнітної сумісності частотно-регульованого приводу та суднової електромережі.

Основні завдання дослідження полягають в наступному:

1. Порівняння існуючих структур частотно-регульованого електроприводу з метою оцінки їх впливу на суднову електромережу з урахуванням їх типових режимів роботи;
2. Розробка та дослідження математичної моделі суднової електромережі і силової частини частотно-регульованого приводу різної топології;
3. Експериментальні дослідження якості мережі автономного електропостачання з різними частотно-регульованими електро-приводами;
4. Розробка рекомендацій з вибору структур активних фільтрів для підвищення якості електроенергії та забезпечення електромагнітної сумісності сучасних електроприводів в автономних електромережах.

Для проведення натурних досліджень створена експериментальна установка (рис.1), яка включає: Г – генератор потужності 8 кВт; ПЧ1-ПЧ4 – частотні перетворювачі різних структур та потужності, з вбудованими пасивними фільтрами (ПФ1-ПФ4); АД1-АД4 – асинхронні двигуни; МПС1-МПС2 – машини постійного струму; Ерсос ММІ 7000 – багатофункціональний вимірювальний прилад; Ерсос BR-7000 – контролер системи управління коефіцієнтом потужності; АФ – активні фільтри.

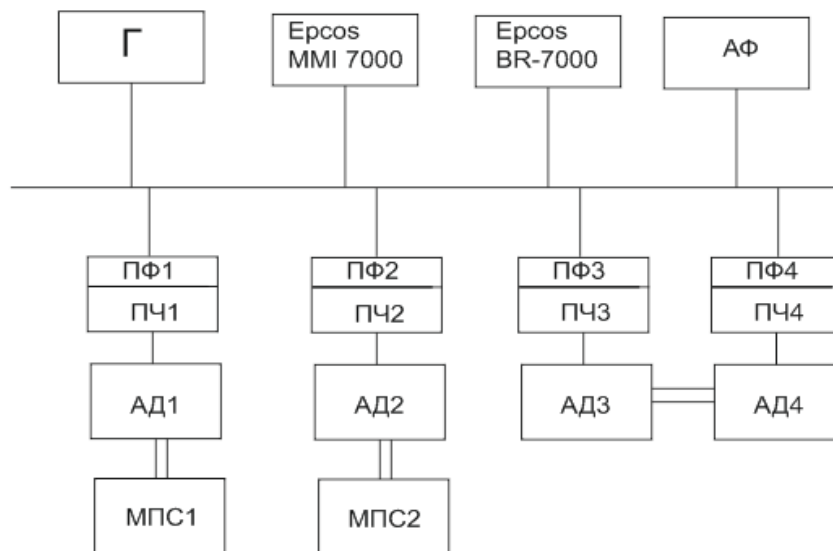


Рисунок 1 – Функціональна схема експериментальної установки

Враховуючи відомості отриманні з літературних джерел [1,4,5,6] пристрої фільтрації розділяються на пасивні, активні та гібридні фільтри. В статті розглядаються декілька сучасних схем силових гібридних фільтрів.

На рис.2 наведено схему трифазного гібридного фільтра, де паралельно навантаженню підключено трифазний LC - фільтр, який налаштовано на 5, 7 або великі гармоніки [4]. LC - фільтри фаз  $Z_{F1}$ ,  $Z_{F2}$ ,  $Z_{F3}$  з'єднані між собою в зірку. Активна частина є керований інвертор, який підключено паралельно навантаженню через первинні обмотки трансформаторів (датчиків струму - D), роль джерела напруги виконує конденсатор С. На виході інвертора встановлені до-

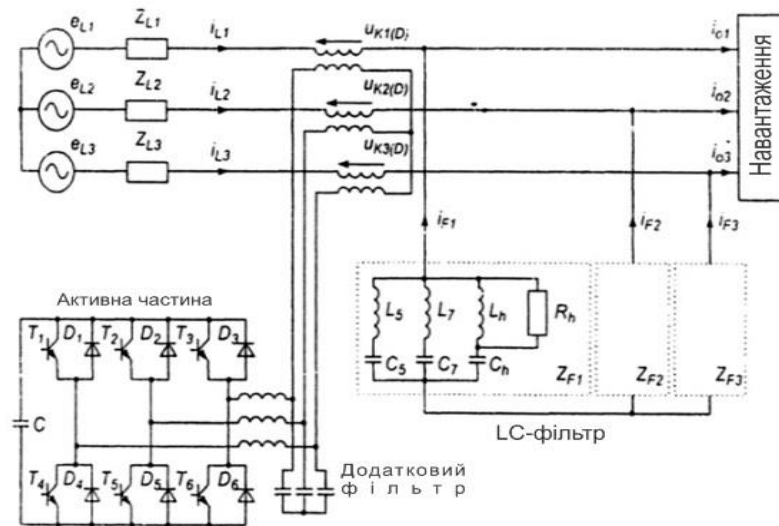


Рисунок 2 – Трифазний фільтр з активною частиною інвертора напруги

даткові LC - фільтри малої потужності, призначені для зменшення стрибків напруги на виході інвертора. Вторинні обмотки трансформаторів включені послідовно з джерелом живлення. Відношення числа витків первинної і вторинної обмоток датчика струму залежить як від напруги живлення, так і від повного опору короткого замикання мережі, опору  $Z_L$ , напруги  $U_C$  на конденсаторі  $C$ , а також від амплітуд вищих гармонік струму споживача.

На рис. 3 показана схема гібридного фільтра, який виконує ті ж самі функції що і попередній фільтр, але з можливістю не тільки усувати вищі гармоніки, але і компенсувати реактивну потужність [5]. На відміну від попередньої схеми активною частиною є інвертор струму, а керуючим сигналом - струм  $i_{F1}$ - $i_{F3}$ .

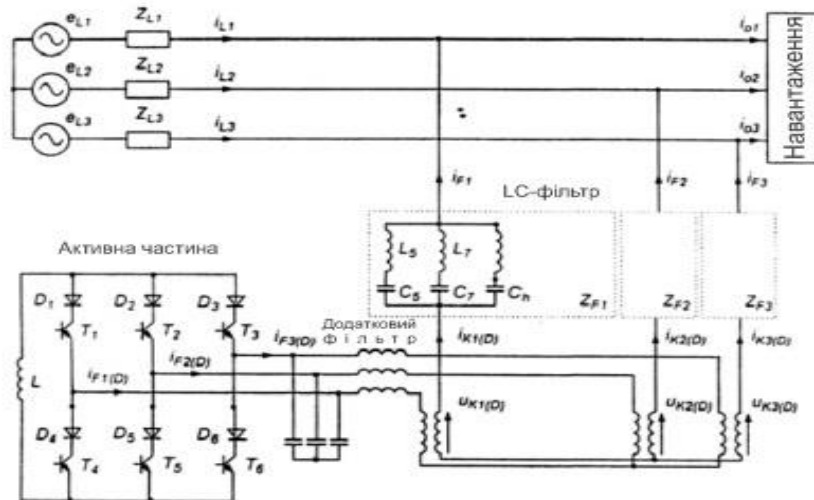


Рисунок 3 – Трифазний фільтр з активною частиною інвертора струму

Аналіз показує, що кращими з точки зору зниження рівня вищих гармонік в мережі живлення є системи з додатковими джерелами струму. Системи з додатковим джерелом напруги також мають схожі фільтруючі властивості, однак гірше систем з додатковим джерелом струму. Одночасно з цим, схеми гібридних фільтрів (рис.2 та рис.3), ніж пасивні LC - фільтри. З точки зору впливу на перехідні процеси, кращі властивості мають схеми з додатковими джерелами

напруги. Це пов'язано з обмежуючим дією резистора  $R_h$ , а також їх кращими характеристиками при змінах напруги.

На рисунку 4 показані спектри струму на споживачі, після LC фільтру та після гібридного фільтру.

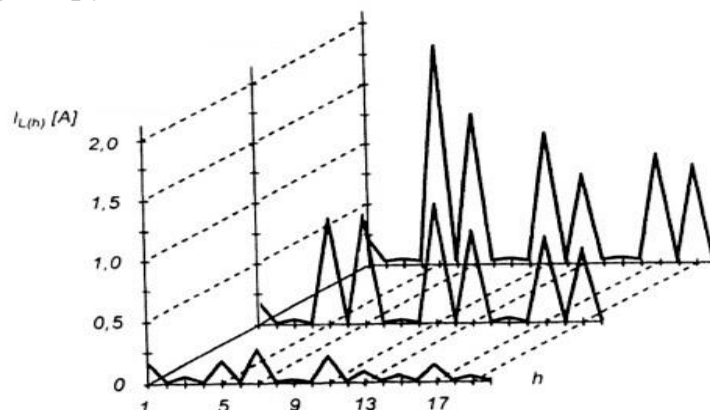


Рисунок 4 – Спектри струму на споживачі, після LC фільтру та після гібридного фільтру

Усі розглянуті гібридні фільтри мають той недолік, що вихідний струм (або напруга), що видається в протифазі складовій мережевого струму (напруги), не збігається з нею за формою (в силу специфіки роботи інвертора), в результаті чого в спектрі мережевого струму (напруги) з'являються додаткові гармонійні складові. Крім того, активна частина відрізняється підвищеною складністю алгоритмів керування і великими апаратними витратами, необхідними для її реалізації. Незважаючи на це ефективність роботи гібридних фільтрів достатньо велика, в порівнянні з пасивними LC - фільтрами вони забезпечують зниження рівнів струмів вищих гармонік в мережі живлення в 10-20 разів (залежно від схеми фільтра) [4,5,6]. Таким чином, застосування нового класу силових гібридних фільтрів, дозволить істотно поліпшити якість електроенергії в суднових електричних мережах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Климов В.П., Москалев А.Д. Способы подавления гармоник тока в системах электропитания // Практическая силовая электроника. Науч.-техн. сборник. – М.: АОЗТ "ММП-Ирбис". – 2002. – Вып 6., С. 15 – 22.
2. Шрейдер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН. – 200. – 273 с.
3. Ключев В.И. Теория электропривода Учеб. Для вузов. 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. – 2001. – 560 с.
4. Fujita H., Yamasaki T., Akagi H. A hybrid active filter for damping of harmonic resonance in industrial systems // IEEE transactions on power electronics/ – 2000. – vol. 15. – № 2. – P. 215-222.
5. Detjen D., Jacobs J., Doncker R.W., Mall H.G. A new hybrid filter to dampen resonances and factor correction equipment // IEEE Transactions on powerelectronics. – 2001. – vol. 16. – № 6 – P. 821-827.
6. Le Roux A. D., Mouton Hd. T., Akagi H. Digital control of an integrated series active filter and diode rectifier with voltage regulation // IEEE Transactions on industry applications. – 2003. – vol. 39. – № 6. – P. 1814–1820.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГРЕБНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЗМІННОГО СТРУМУ З ТРЬОХОБМОТКОВИМ ТРАНСФОРМАТОРОМ ГІДРОГРАФІЧНОГО СУДНА

В. С. Петрушин, д.т.н., професор  
П. І. Куємжи, курсант  
Одеська національна морська академія

У даний час для спеціалізованих суден використовуються гребні електричні установки (ГЕУ). В ГЕУ потужність від головних двигунів передається до гребного гвинта за допомогою електропередачі. Електрична передача дозволяє забезпечити виконання однієї з основних вимог, що пред'являються до енергетичної установки - збереження сталості потужності головного двигуна при змінах моменту на гребному гвинті.

Раціональним рішенням для гідрографічного судна є використання ГЕУ з перетворювачем частоти (ПЧ), що працює на асинхронні двигуни (АД). ГЕУ має виконання з двома двигунами. Головною особливістю цієї ГЕУ є використання для живлення ПЧ трьох обмотковим трансформатором (ТВ), що дозволяє використовувати двох мостову схему випрямління. Завдяки цьому покращується робота ГЕУ, а також змінюються суднові напруги за рахунок виключення гармонік відповідних нумерацій. Обертний момент на гребні гвинти передається за допомогою редуктора. Передаточне число редуктора 3.

Розрахунок необхідної потужності дозволяє вибрати двигун, відповідний до навантаження на валу. В якості гребного електродвигуна (ГЕД) використовується двигун 4А355М12, який має номінальну потужність 90 кВт.

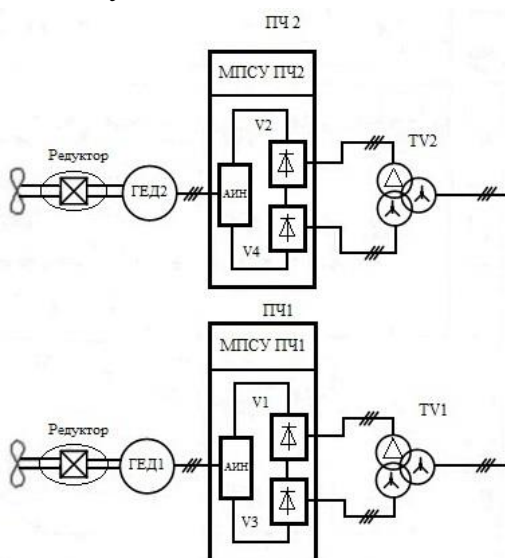


Рисунок 1 – Схема з трифазним АД

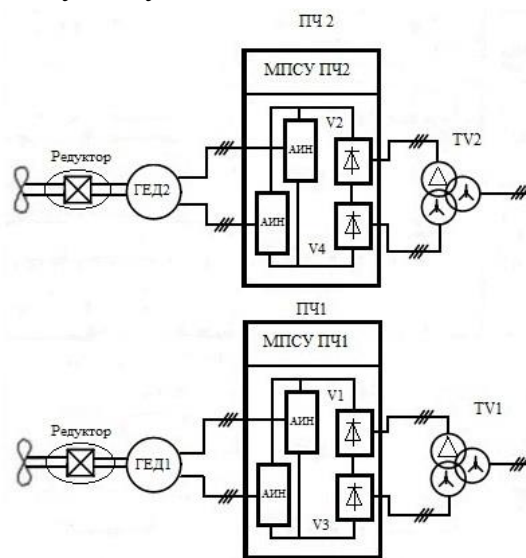


Рисунок 2 – Схема з шестифазним АД

Згідно технічного завдання оберти гребного вала змінюються в діапазоні від 0 – 200 об/хв., що здійснюється за допомогою ПЧ ( $f$  змінюється від 0 до 25 Гц).

Розглянуті два варіанта схем:

- 1) з трифазним АД (рисунок 1);
- 2) з шестифазним АД (рисунок 2).

На рисунках 3, 4 представлені теплові характеристики для двох схем, що розглядаються.

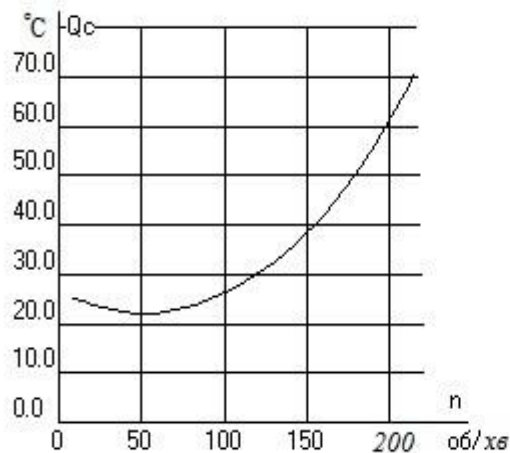


Рисунок 3 – Теплова характеристика трифазного АД

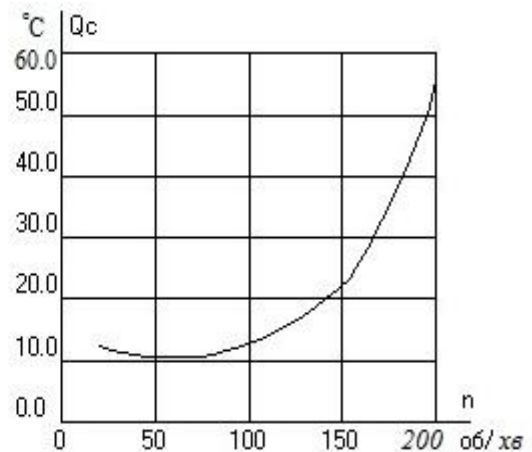


Рисунок 4 – Теплова характеристика шестифазного АД

Згідно з отриманих характеристик у шестифазному двигуні спостерігається менші значення температури перегріву, а також збільшені значення ККД.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Васин И.М. Диссертация «Создание перспективных электротехнических и энерготехнических комплексов судовых единых электроэнергетических систем». Санкт – Петербург 2011. – 445 с.
2. Петрушин В.С. Учебное пособие «Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе» / Одесса: Наука и техника, 2006. – 320 с.
3. Петрушин В.С., Рябинин С.В., Якимец А.М. Программный продукт «DIMASDrive». Программа анализа работы, выбора и проектирования асинхронных короткозамкнутых двигателей систем регулируемого электропривода (свидетельство о регистрации программы ПА №4065). Киев: Министерство образование и науки Украины, Государственный департамент интеллектуальной собственности, 26.03.2011.

## ПРИМЕР ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СУДОВОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

С.С.Павленко, аспирант  
Одесская национальная морская академия

Одной из эффективных мер поддержания уровня напряжения, снижения пускового тока, иными словами, повышения запаса устойчивости во время переходных режимов электропривода, является динамическая компенсация реактивной мощности, работающая с максимально возможным быстродействием.

В предыдущих работах [1] была показана целесообразность рассмотрения конденсаторной установки компенсации реактивной мощности, состоящей из нескольких секций, коммутируемых по-фазно к сети тиристорами, как цифровой автоматической системы регулирования реактивной мощности. Определено, что наилучшие процессы компенсации достигаются при использовании интегрального закона регулирования. Доказана возможность компенсации реактивной мощности в реальном времени в переходном процессе пуска электродвигателя.

В данной работе сделана попытка применить принцип дискретного управления в судовой установке динамической компенсации реактивной мощности во время пуска мощного электропривода. Рассматриваем локальную компенсацию реактивной мощности электропривода насоса для перекачивания бурового раствора судна типа АНТС “Bourbon Liberty 244”. Электродвигатель АВВ типа М2 ВАХ 315 SM D4 мощностью 160 кВт.

Пример компенсирующего устройства фирмы Еrcos с четырьмя трехфазными секциями конденсаторов серии PhiCap C1a, C1b, C1c, C2 - C4, общей рекомендованной мощностью 33 Квар, в судовой электроустановке приведен на рис. 1. Во время пуска асинхронного двигателя (АД) производится измерение реактивной проводимости нагрузочной сети синхронного генератора (СГ), приводимого во вращение дизелем (Д). Коммутация конденсаторных секций осуществляется тиристорными ключами К1-К4 типа TSM-LC-I в зависимости от величины реактивной проводимости сети.

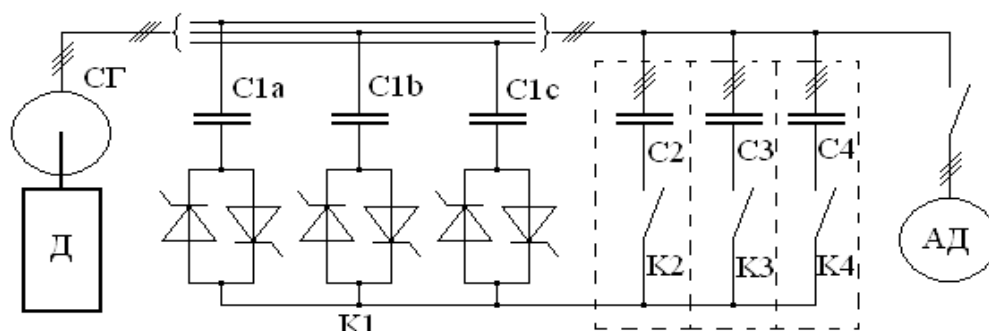


Рисунок 1 – Электроустановка с дискретной конденсаторной компенсацией реактивной мощности пускаемого асинхронного двигателя



Управление компенсирующим устройством осуществляется контроллером корректора коэффициента мощности серии BR7000-T, рис.2, который представляет собой объединение двух приборов в одном: он может быть использован и как контроллер ККМ, так и как инструмент для измерения параметров электрической сети.

Приведенная конденсаторная установка компенсации реактивной мощности, представляет собой цифровую автоматическую систему регулирования реактивной мощности [2, 3].

В этой схеме квантование по уровню соответствует изменению емкости конденсаторов только на фиксированную величину  $\Delta C$ , которая является интервалом квантования по уровню и определяет точность регулирования реактивной проводимости  $\Delta b_c = 1/\omega \cdot \Delta C$  при постоянной частоте тока  $\omega$ .

Квантование сигнала управления по времени обусловлено физическими свойствами конденсаторов и техническими характеристиками полупроводниковых тиристорных ключей.

Использование интегрального закона регулирования позволяет добиться наилучших результатов в процессах компенсации реактивной мощности во время пуска данного привода. При выборе постоянной интегрирования интегрального компенсатора равной периоду коммутации и периоду сети процессы регулирования заканчиваются за 1...5 периода сети.

Во время пуска данного электропривода система компенсации реактивной мощности поддерживает величину  $\cos \varphi$  близкой к единице. Происходит значительное уменьшение пускового тока, а напряжение сети поддерживается на заданном уровне, что увеличивает устойчивость системы при пуске мощного электропривода.

### Выводы:

Применение принципа дискретного управления в судовой установке динамической компенсации реактивной мощности во время пуска мощного электропривода позволяет эффективно компенсировать значение реактивной мощности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Муха Н. И., Павленко С. С. Дискретное управление конденсаторным компенсатором реактивной мощности в пусковых режимах мощных асинхронных двигателей // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сборник научных трудов. Серия: Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Х.: НТУ «ХПИ» - 2013. – С 412-416.
2. Naganathan G., Sharaf A.M.: Microprocessor control of wild driven squirrel cage induction generator. Europ. Conf. on Power Electronics and Appl., v.1, Brussels, 1985, p.2.7-2.12.
3. Epcos. Компоненты для компенсации реактивной мощности. <http://www.epcos.com/epcos-en/180396/tech-library/publications/pfc>



Рисунок 2 – Контроллер BR7000-T

## ФИЗИКА ПРОЦЕССА САМОВОЗБУЖДЕНИЯ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

С.Н. Сакалы, ассистент

Одесская национальная морская академия

В научных трудах по исследованию асинхронных генераторов (АГ) большое внимание уделяется процессу асинхронного самовозбуждения.

По мере развития теории АГ подход к анализу процесса самовозбуждения и раскрытию его физической природы претерпел существенные изменения.

В прошлом, наиболее распространенная трактовка самовозбуждения АГ основывалась на явлении остаточного намагничивания [1]. Самовозбуждение АГ отождествлялось с самовозбуждением генератора постоянного тока с параллельным возбуждением. Первым импульсом для начала самовозбуждения является остаточный магнитный поток. При вращении ротора приводным двигателем этот поток наводит в статоре электродвижущую силу (ЭДС). Если к зажимам статора подключены конденсаторы, то ток, создаваемый этой ЭДС, будет емкостный и соответственно, поток статора будет направлен согласно с остаточным потоком, что приводит к увеличению результирующего потока. В свою очередь этот поток создает ещё большую ЭДС, т.е. идет лавинообразный процесс нарастания напряжения и тока до точки пересечения характеристики холостого хода АГ с вольтамперной характеристикой конденсатора (рис. 1.).

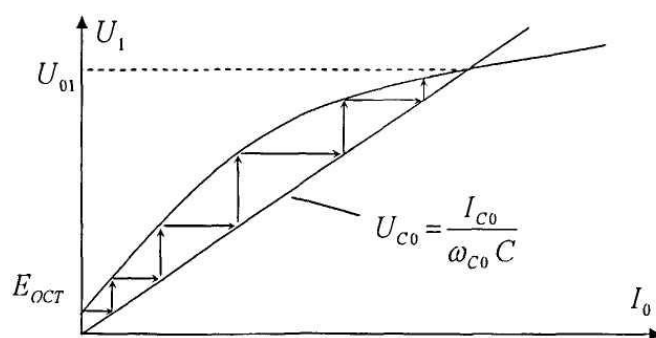


Рисунок 1 – Характеристика самовозбуждения АГ с подключенными конденсаторами.

Дальнейшие исследования показали, что такое истолкование процесса самовозбуждения АГ не совсем верно [2]. Это связано с тем, что остаточный поток ротора наводит в фазах обмотки статора ЭДС синхронной частоты, соответственно при подключении конденсаторов в обмотке статора, возникают токи, которые создают вращающееся магнитное поле той же частоты. Таким образом, ротор и магнитное поле в воздушном зазоре вращаются синхронно. Это противоречит теории электромеханического преобразования

энергии в асинхронной машине, согласно которой скорость поля должна быть отлична от скорости ротора.

Объяснение явления самовозбуждения с точки зрения резонанса, возникающего в линейных цепях с индуктивностью и емкостью, тоже оказалась неудачной. Резонанс возможен, если в цепи статора имеется вынуждающая ЭДС определенной величины, с частотой равной частоте свободных колебаний этой цепи. В АГ бесконечно малая вынуждающая ЭДС необходима только для запуска процесса самовозбуждения. В установившемся режиме, генератор может работать и без этой ЭДС. Кроме того, самовозбуждение АГ предполагает наличие нелинейности. В противном случае имело бы место неограниченное нарастание токов и напряжений. Естественно, что при обычном резонансе в линейных цепях такого эффекта нет.

Подвергается критике и трактовка самовозбуждения АГ, как явления, возникающего по причине параметрического резонанса [3], т.к. анализ на основании подобного физического представления математически затруднён, особенно для случая самовозбуждения асинхронной машины, имеющей равномерный воздушный зазор, полый немагнитный или гладкий массивный ротор. Кроме того, при параметрическом резонансе надо было ожидать жесткой кратности в соотношении между частотой собственных колебаний контура генератора и частотой вращения ротора. Эксперименты опровергли это, они показали, что частота электрических колебаний в процессе самовозбуждения АГ мало изменяется и она не кратна частоте вращения ротора [2].

Также есть мнение, что основной физической предпосылкой к возникновению емкостного самовозбуждения является условие, при котором в трехфазную цепь статора, где в каждую фазу включены конденсаторы, вливалось энергии, по крайней мере, не меньше, чем ее рассеивается в активных сопротивлениях. Для этого необходимо, чтобы при взаимодействии вращающегося ротора с токами, обусловленными свободными колебаниями в цепи статора и вызванными какими-либо случайными возмущениями, создавался надлежащий момент вращения. Этот момент должен обеспечивать передачу энергии от вала ротора в цепь статора для поддержания в этой цепи возникших свободных колебаний.

Физическое представление процесса самовозбуждения АГ недостаточно точно и раскрыто, следовательно, есть необходимость проведения более глубоких теоретических и эмпирических исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зубков Ю.Д. Асинхронные генераторы с конденсаторным возбуждением. - Алма-Ата: Изд-во АН Каз.ССР, 1949.
2. Бояр-Созонович С.П. Альтернативность асинхронных генераторов с конденсаторным самовозбуждением // Электричество. - 1993. № 3.
3. Каримов А.Х., ХоТхань Хиен О параметрическом самовозбуждении асинхронного генератора // Электротехника. - 1992, № 6-7.

## **РАБОТА РУЛЕВОЙ УСТАНОВКИ В УСЛОВИЯХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ И АНАЛИЗ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ**

В.Г. Донской, к.т.н., доцент

Ю.Ю. Бельчев, курсант

Одесская национальная морская академия

В последние десятилетия глобализация и рост мировой экономики обеспечивали транспорту ключевую роль в международных перевозках. При этом, среди существующих видов транспорта важнейшая роль принадлежит морскому транспорту, на долю которого приходится около 90% грузовых перевозок.

По многим техно-экономическим показателям морской транспорт превосходит другие виды транспорта: самая большая единичная грузоподъемность, практически не ограниченная пропускная способность морских путей, сравнительно малые удельные капитальные вложения, небольшая затрата энергии на перевозку одной тонны груза, низкая себестоимость.

Согласно данным, структура мирового морского флота по основным типам судов в 2012 году имела вид:

- балкеры-532 039 тыс.т. (38% рынка);
- нефтеналивные танкеры-474 846 тыс.т. (34%);
- контейнеровозы-183 859 тыс.т. (13,2%);
- суда для генеральных грузов-108 971 тыс.т. (7,8%);
- суда для сжиженных газов-43 339 тыс.т. (3,1%);
- морские суда обеспечения-33 227 тыс.т. (2,4%);
- паромы и пассажирские суда-6 164 тыс.т. (0,4%);
- танкеры для химических продуктов-5 849 тыс.т. (0,4%);
- другие суда-7 450 тыс.т. (0,5%).

Согласно приведенной статистике более 97% судов используются для перевозки насыпных, наливных, контейнерных, генеральных и других грузов, а также техники и пассажиров, что определяет важность мирового морского флота в организации транспортного процесса.

Для обеспечения эффективности транспортного процесса требуются суда с улучшенными характеристиками, а также современные методы их технической эксплуатации.

Техническое состояние судовых технических средств во многом определяет безопасность мореплавания и предотвращение загрязнения окружающей среды.

Статистика показывает, что большинство аварий на морском флоте связаны с отказами судовых технических средств и, прежде всего, с отказами главного двигателя, электрической станции и рулевой установки.

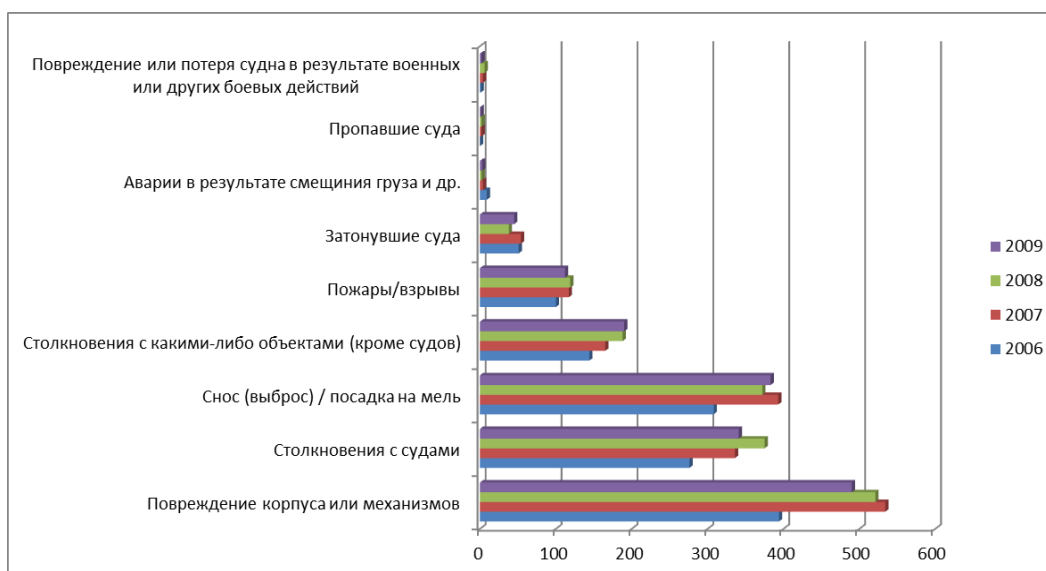


Рисунок 1 – Диаграмма аварийных ситуаций на мировом флоте по типам и годам.

Особого внимания заслуживают отказы рулевой установки, о чем свидетельствуют примеры аварий судов с гидравлической рулевой машиной, которая наиболее распространена на современных судах.

Столкновение американского контейнеровоза «Sea Witch» с бельгийским танкером «Eso Bruxelles» (дедвейтом 40 800 т.). Авария произошла по причине отказа рулевой машины на контейнеровозе. Неисправность рулевой машины произошла из-за повреждения универсальной муфты сцепления, расположенной в механизме управления насосами. По этой же причине оказалось неэффективным и переключение насосов. В результате аварии танкер был серьезно поврежден, а контейнеровоз сторел вместе с грузом.

Столкновение танкера «Sitala» с 20 баржами, стоявшими на якоре в «Greenville Bend» (Новый Орлеан). Причина – отказ рулевого управления танкера. В результате столкновения нанесены значительные материальные убытки.

Наиболее тяжелая авария произошла с либерийским танкером «Амосо Cadiz» дедвейтом 228 500 т. Он совершал рейс из Персидского залива в Роттердам и в тяжелых погодных условиях сел на мель с полным грузом сырой нефти у побережья Франции. По итогам расследования, основной причиной катастрофы был назван выход из строя гидравлической рулевой машины.

Рассмотренные аварии являются лишь немногими примерами тяжести последствий отказа рулевой установки.

Рассматривая рулевую установку в плоскости силовой части, можно отметить, что первым шагом по повышению требований надежности работы рулевых машин стали «Поправки 1981 г. к Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 года», в которых содержится требование – так называемый критерий (показатель) единичной неисправности. Согласно этому требованию, единичная неисправность (отказ) в гидравлической системе, силовых агрегатах (насосах) или системе управления рулевым приводом должна быть изолирована в течение не более 45 сек. при обеспечении работоспособности рулевой машины для поддержания управляемости судна.

Процесс определения и отключения некоторых неисправных частей рулевой машины до сих пор не автоматизирован, и занимает время, необходимое для локализации вручную.

Эффективность и надежность судовых рулевых установок регламентируется Требованиями к функциональности и отказоустойчивости как комплекса в целом, так и отдельных его подсистем. Эти Требования периодически пересматриваются нормативными документами Международной морской организации (ИМО).

Основным способом повышения надежности рулевых приводов является резервирование. Поэтому, главный рулевой привод должен иметь два или несколько силовых агрегатов и устроен так, чтобы отдельные повреждения в любом одном из его силовых компонентов не выводили из строя оставшуюся часть рулевого привода.

В соответствии с требованиями Международной Конвенции СОЛАС: перерыв в управлении судном, обусловленный отключением поврежденного участка и восстановлением работоспособности привода не должен превышать 45 сек. от момента выхода из строя поврежденного участка системы.

Высокие риски при отказах рулевой установки подчеркивают актуальность проблемы, однако достоверная оценка риска может быть проведена лишь при детальной верификации структурных и функциональных особенностей установки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия позиционирования национального морского транспорта в глобальном транспортном рынке / [Миусов М. В., Примачев Н. Т., Винников В. В. и др.]. – Одесса : Автограф, 2006. – 234 с.
2. Обзор морского транспорта : (конференция организации объединенных наций по торговле и развитию) [Электронный ресурс] / ЮНКТАД, 2011. – Режим доступа к журн. : [http://unctad.org/ru/docs/rmt2011\\_ru.pdf](http://unctad.org/ru/docs/rmt2011_ru.pdf)
3. Морской бюллетень. Морские катастрофы, пиратство, терроризм, 2012. – Режим доступа : [www.odin.tc/disaster](http://www.odin.tc/disaster).
4. Lloyd's List Intelligence. Casualties, 2006-2009. – Режим доступа : [www.lloydslistintelligence.com/lint/home-casualties/casualties-by-type.htm](http://www.lloydslistintelligence.com/lint/home-casualties/casualties-by-type.htm)
5. Marine Accident Investigation Branch (MAIB). Annual report, 2006. – 43 p. – Режим доступа: [http://www.maib.gov.uk/cms\\_resources.cfm?file=/MAIB%20Annual%20Report%202006.pdf](http://www.maib.gov.uk/cms_resources.cfm?file=/MAIB%20Annual%20Report%202006.pdf)
6. Marine Accident Investigation Branch (MAIB). Annual report, 2007. – 78 p. – Режим доступа : [http://www.maib.gov.uk/cms\\_resources.cfm?file=/MAIB-Annual%20Report%202007.pdf](http://www.maib.gov.uk/cms_resources.cfm?file=/MAIB-Annual%20Report%202007.pdf)
7. Marine Accident Investigation Branch (MAIB). Annual report, 2008. – 72 p. – Режим доступа : [http://www.maib.gov.uk/cms\\_resources.cfm?file=/Annual%20Report%202008.pdf](http://www.maib.gov.uk/cms_resources.cfm?file=/Annual%20Report%202008.pdf)
8. Marine Accident Investigation Branch (MAIB). Annual report, 2009. – 76 p. – Режим доступа: [http://www.maib.gov.uk/cms\\_resources.cfm?file=/MAIB%20Annual%20Report%202009.pdf](http://www.maib.gov.uk/cms_resources.cfm?file=/MAIB%20Annual%20Report%202009.pdf)
9. Харин В. М. Судовые гидравлические рулевые машины: учеб. пособие / В. М. Харин. – Одесса : Фенікс, 2005. – 280 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ВКЛЮЧЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ В ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ РАБОТУ

Л.В. Вишнеvский, профессор  
И.А. Нефёдов, курсант  
Одесская национальная морская академия

При эксплуатации дизель генераторов в судовых условиях, применяют три режима синхронизации:

- самосинхронизация: при этом виде синхронизации частоту вращения подключаемого генератора доводят до значения, близкому к номинальному, и без возбуждения подсоединяют к шинам работающего генератора, а затем подают возбуждение, и генератор втягивается в синхронизм.

- точная синхронизация: при которой до включения генератора на шины электростанции его напряжение и частота устанавливаются равными напряжению и частоте сети; в момент совпадения фаз напряжений сети последний включается в сеть.

- грубая синхронизация: генератор подключается на шины не ГРЩ не прямо, а через индуктивное сопротивление  $x_p$  (реактор), включенное в каждую фазу, которое после втягивания машины в синхронизм шунтируется специальным контактором.

Данной дипломной работе более детально рассмотрен режим точной синхронизации, так как не несёт за собой негативный последствий для сети и электроприборов находящихся на судне.

Для более детального исследования точной синхронизации, использована программа SGE которая позволяет в математической среде промоделировать синхронизацию дизель генераторов.

Так же при помощи данной математической модели найдены максимально допустимые отклонения по частоте, напряжению, току и фазе при синхронизации дизель-генераторов.

Так же рассмотрена возможность использования данной программы для обучения курсантов навыка синхронизации дизель-генераторов вне машинного отделения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Хоуп Г. Проектирование цифровых вычислительных устройств на интегральных схемах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 400с., ил.
2. Баранов А.П. Автоматическое управление судовыми электроэнергетическими установками: Учебник — М.: Транспорт, 1981. — 255 с.
3. Горб С.И. Методика выполнения дипломных работ и проектов [Текст]: учеб.пособие / С.И. Горб, Н.И. Верлатый, А.К. Сандлер. – Одесса: ОНМА, 2006. – 60 с. – Библиогр.: с. 52-150.

4. Дизель-генераторы переменного тока напряжением до 400 в. [Текст] / В. И. Штерн, А. А. Самойлов. - М. : Энергия, 1972. - 103 с. : ил. - (Библиотека электромонтера : БЭ ; вып. 369). - Библиогр.: с. 102 (9 назв.). - 0.21 р.

5. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электро-энергетические системы: Учебник – М.: Транспорт, 1998. 328с

УДК 629.5.065

## **МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ГРУЗА ДЛЯ ПАЛУБНЫХ И БЕРЕГОВЫХ КРАНОВ**

А.И.Шестака, аспирант

Одесская национальная морская академия

Погрузочно-разгрузочные операции - это технологический процесс, управление которым бывает и ручным и автоматизированным. На практике необходимо управлять этими операциями как вручную, так и автоматически в зависимости от конкретных задач и условий, а также от уровня автоматизации погрузочно-разгрузочных работ в целом. Эта задача представляет постоянный значительный интерес для развития современных промышленных технологий.

Производительность и качество различных технологических процессов во многом определяется транспортными операциями, в частности, перемещением грузов подъемно-транспортными механизмами. Однако подвешенные на гибкой нити (канате) грузы в процессах пуска и торможения механизмов передвижения склонны к раскачиванию, что может не только существенно замедлить сам технологический процесс, но также снизить его качество.

Поэтому постоянно актуальной остается разработка методов гашения колебаний груза, требующих для своей реализации простых технических средств и наименьшего количества датчиков, при этом обеспечивающих достаточно высокое быстродействие, в том числе вследствие совмещения операций горизонтального перемещения и подъема груза. Такие решения могут внести существенный вклад в повышение эффективности погрузочно-разгрузочных работ, повысить производительность многих транспортных операций. Особое внимание сегодня уделяется так называемым бездатчиковым системам, которыми легко может быть дополнительно оснащено уже имеющееся и работающее технологическое оборудование. Упростить систему, повышая при этом ее эксплуатационные качества, позволяет применение цифровых программируемых устройств, которые при неизменной аппаратной части могут осуществлять управление по различным алгоритмам в зависимости от требований технологического процесса.

В настоящем докладе рассмотрены общие вопросы, касающиеся разработки автоматизированной системы оптимального управления крановыми механизмами поступательного движения, обеспечивающей возможно быстрое



гашение колебаний подвешенного на гибкой нити груза и повышение, таким образом, производительности технологического процесса.

Для решения таким образом сформулированной задачи в общем случае необходимо выполнить следующие шаги:

а) провести исследование процесса колебаний подвешенного груза, обосновать возможности анализа механизма передвижения с подвешенным грузом как двух- или трехмассовой системы;

б) определить закон управления электроприводом, обеспечивающий при данных условиях эксплуатации и специфических ограничениях гашение колебаний за минимальное время;

в) оценить влияние различных факторов на характер протекания и длительность оптимальных переходных процессов пуска и торможения;

г) принять все возможные меры для обеспечения максимальной инвариантности системы к критичным возмущениям;

д) обосновать структуру системы микропроцессорного управления механизмом с подвешенным грузом, разработать типовые наборы алгоритмов управления для конкретных вариантов технологических задач.

Как было отмечено выше, механизмы горизонтального перемещения, участвующие в автоматизации технологического процесса, характеризуются относительно продолжительными переходными процессами. Именно поэтому динамическую систему механизма передвижения крана с подвешенным грузом следует рассматривать как оптимальную по быстродействию, так как для неё необходимо обеспечить минимум времени переходных процессов. Критерий оптимальности реализуется при наличии естественных и условных ограничений. Естественные ограничения отражают ограничения управляемых координат и управляющего воздействия по модулю, вытекающие собственно из свойств системы и её элементов. Эти ограничения обуславливаются принципом работы объекта и элементов регулятора. Условные же ограничения вводятся в систему сознательно с целью обеспечения конкретных требований технологического процесса.

Для оптимизации переходного процесса механизма передвижения крана и решения таким образом поставленной задачи удобно использовать *принцип максимума*, который позволяет сравнительно легко учесть ограничения на управляющие воздействия, подводимые к объекту управления, он наиболее эффективен при синтезе систем, оптимальных по быстродействию.

Для анализа работы механической системы рассмотрим процесс пуска механизма передвижения грузоподъемной тележки с подвешенным на гибкой нити (канате) грузом, описывая его дифференциальными и алгебраическими уравнениями. Известна расчетная схема механической системы для этого случая, изображенная на рисунке 1.

Здесь механизм представлен в виде двух поступательно движущихся масс:  $m_1$  - тележки (моста) и  $m_2$  - груза, подвешенного на гибкой нити длиной  $l$ ,  $S_1$  и  $S_2$  - пути их перемещения соответственно.

Пуск происходит под действием динамического усилия  $F$ , представляющего собой разность усилия (момента), создаваемого двигателем, и силы статического сопротивления (силы трения). Если известно значение силы сопротивления, то величина  $F$  определяет усилие (момент) двигателя.

Полагаем, что до начала разгона люфты в передачах выбраны, а нить нерастяжима, т.е. длина  $l$  не зависит от веса груза.

Пренебрегая потерями при деформации нити, движение рассматриваемой системы можно описать известными дифференциальными уравнениями:

$$F - F_r = m_1 \frac{d^2 S_1}{dt^2} \quad (1)$$

$$F_r = m_2 \frac{d^2 S_2}{dt^2}, \quad (2)$$

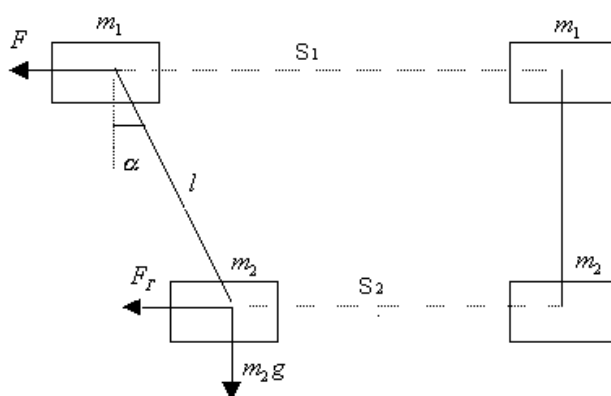


Рисунок 1 – Расчетная схема пуска механизма передвижения, приведенная к поступательному движению

где горизонтальная составляющая от силы веса груза, эквивалентная усилию упругой линейной деформации,

$$F_r = m_2 g \frac{S_1 - S_2}{l}. \quad (3)$$

В последнем выражении величина  $\frac{m_2 g}{l}$  эквивалентна коэффициенту жесткости при той же линейной деформации,  $g$  – ускорение свободного падения.

Отклонение груза от вертикали характеризуется углом  $\alpha$ . При реальных малых углах отклонения с достаточно высокой степенью точности можно считать  $\sin \alpha \approx \alpha$ , тогда:

$$\alpha = \frac{S_1 - S_2}{l} = \frac{\Delta S}{l},$$

и, следовательно,

$$F_r = m_2 g \alpha. \quad (4)$$

Преобразуя уравнения (1) и (2), с учетом формулы (4) получаем выражение, связывающее угол отклонения груза с задающим воздействием:

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \Omega^2 \alpha = \frac{F}{m_1 l}; \quad (5)$$

при этом частота собственных колебаний системы "тележка – груз"

$$\Omega = \frac{1}{T} = \sqrt{\frac{g(m_1 + m_2)}{lm_1}} = \Omega_0 \sqrt{\gamma_1}, \quad (6)$$

где  $\Omega_0$  - известная частота колебаний математического маятника, подвешенного на конструкции с бесконечной массой ( $m_1 = \infty$ ),

$$\Omega_0 = \frac{1}{T_0} = \sqrt{\frac{g}{l}}. \quad (7)$$

Здесь и далее коэффициенты соотношения масс

$$\gamma_1 = \frac{m}{m_1}, \gamma_2 = \frac{m}{m_2}, \quad (8)$$

где  $m = m_1 + m_2$ .

Перейдя к операторной форме записи уравнения (5), с учетом (6) получаем передаточную функцию для угла  $\alpha$ :

$$H_\alpha(p) = \frac{\alpha(p)}{F(p)} = \frac{1}{gm(T^2 p^2 + 1)} \quad (9)$$

Решением получаемого из передаточной функции (9) уравнения при нулевых начальных условиях и действии постоянной силы  $F$  (например, при пуске) является зависимость

$$\alpha = \frac{F}{gm}(1 - \cos \Omega t), \quad (10)$$

графически изображенная на рисунке 2, отображающая незатухающие колебания, которые груз совершает с частотой  $\Omega$  относительно наклонной оси, а угол  $\alpha$  меняется от 0 до  $\alpha_{\max} \cong 0,2 \frac{F}{m}$ .

Если переходный процесс пуска заканчивается через промежуток времени  $\frac{2\pi}{\Omega}n$ , где  $n = 1, 2, 3, \dots$ , то груз после прекращения действия силы  $F$  больше не колеблется ( $F=0$ ;  $\alpha=0$ ). Однако если время переходного процесса отлично от значений  $\frac{2\pi}{\Omega}n$ , колебания сохраняются, а их амплитуда зависит от начальных условий.

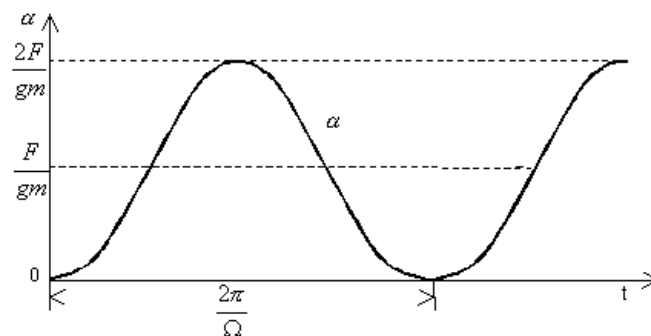


Рисунок 2 – Зависимость угла отклонения груза от вертикали при действии усилия  $F = \text{const}$

В общем случае решение однородного дифференциального уравнения, соответствующего (5), в установившемся режиме (когда скорость тележки  $V_1 = \frac{dS_1}{dt}$  достигает заданного значения  $V_{1зад}$  и  $F=0$ ) и ненулевых начальных условиях принимает вид:

$$\alpha = \alpha_n \cos \Omega t + \frac{\alpha'_n}{\Omega} \sin \Omega t, \quad (11)$$

где  $\alpha_n$  и  $\alpha'_n$  - начальные значения угла и его производной, являющиеся конечными для режима, описываемого зависимостью (10).

Амплитуду колебаний, определяемых зависимостью (11), можно найти по формуле:

$$\alpha_m = \sqrt{\alpha_n^2 + \left(\frac{\alpha'_n}{\Omega}\right)^2}.$$

Если подставить в последнее выражение угол  $\alpha$  из формулы (10), а также его производную  $\alpha' = \frac{F}{gm} \Omega \cdot \sin \Omega t$ , то выражение для максимальной амплитуды окажется:

$$\alpha_m = \frac{F}{mg} \sqrt{2 \cdot (1 - \cos \Omega t)}. \quad (12)$$

Из анализа выражения (12) следует, что наибольшей амплитуда колебаний оказывается тогда, если вынужденный переходный процесс заканчивается в момент времени  $\frac{\pi}{\Omega} n$  и тогда она составляет:  $\alpha_{mm} = 2 \frac{F}{gm}$ .

Таким образом, амплитуда колебаний в соответствии с формулами (10), (12) пропорциональна усилию  $F$ , а следовательно, и динамическому моменту двигателя, и при его уменьшении также снижается. Однако использование этого явления для ограничения раскачивания груза сопровождается увеличением времени переходных процессов, что ведет к уменьшению производительности технологического процесса и не соответствует поставленной задаче. Требуется найти такой закон изменения усилия  $F$ , который обеспечивал бы минимальное время переходного процесса с учетом требований, предъявляемых к данной САУ. Требования следующие: необходимо, чтобы к концу разгона и торможения, которые протекают за минимальное время, нить с грузом располагалась бы вертикально, т.е. угол её отклонения от вертикали  $\alpha = 0$  (Рис. 1). При этом предполагается, что используется такой регулируемый электропривод, который может обеспечить любой требуемый закон изменения динамического момента двигателя (усилия  $F$ ). Кроме того, для рассматриваемых механизмов полагаем допустимым пренебрежение электромагнитной инерционностью электропривода.

В докладе акцентируется, что построение систем управления с использованием принципа максимума Понтрягина позволяет получить такую зависимость усилия  $F(t)$ , при которой достигается успокоение груза к концу разгона (торможения) за минимальное время. При этом целесообразно организовать

управление усилием в три этапа с изменением знака управляющего воздействия  $F$ . Полученные соотношения позволяют точно рассчитать время каждого из этапов.

Выполнение таких расчетов является составной частью алгоритмов работы системы управления современными электроприводами соответствующих механизмов, обеспечивающих гашение колебаний груза при пуске и останове как в ручном, так и в полуавтоматическом режимах. Кроме того, дополнительная точность операций полностью автоматического позиционирования (например, для контейнерных перегружателей) достигается применением дополнительных датчиков угла отклонения канатов от вертикали, датчиков положения тележки и т.п. Относительно несложная математическая обработка этой информации позволяет автоматизировать процессы погрузки-выгрузки контейнеров в соответствии с заранее заданными координатам

## ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимьяк Р.П., Бушер В.В., Мельникова Л.В. Микропроцессорное оптимальное по быстродействию управление механизмом передвижения. // Вісник Харківського державного політехнічного університету. Збірка наукових праць. Тематичний випуск 113. – Харків, ХДПУ, 2000. - С.69-71.
2. Герасимьяк Р.П. Подавление упругих колебаний многомассовой электромеханической системы. Вестник Харьковского политехнического университета. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Харьков, Основа, 1997.- С.120-121.
3. Герасимьяк Р.П., Лещев В.А. Анализ и синтез крановых электромеханических систем. – О.: СМІЛ, 2008. –192 с.
4. Герасимьяк Р.П., Мельникова Л.В. Оптимальное управление крановым механизмом передвижения/Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы.-1999.- №1.-С.87-94.
5. Масандилов Л.Б., Фесенко Ю.И. Анализ оптимального управления электроприводом механизма перемещения груза // Труды Моск. энерг. ин-та.- 1975.- Вып.223. - С. 54-58.
6. Математическая теория оптимальных процессов/Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкрелидзе, Е.Ф. Мищенко. - М.: Наука, 1969. –344 с.
7. Мельникова Л.В. Влияние условий эксплуатации механизмов передвижения на оптимальное управление электроприводом // Електромашинобудування та електрообладнання: Респ. міжвід. наук.-техн. зб. –1999.- Вип.53.- С. 36-40.
8. Оптимальные системы автоматического управления электроприводов: Учеб. пособие/ Р.П. Герасимьяк. – Одесса. ОГПУ, 1998. – 72 с.
9. Попович М.Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування. –К.: Либідь, 1997. – 544 с.
10. Смехов А.А., Ерофеев Н.И. Оптимальное управление подъемно-транспортными машинами. М.: Машиностроение, 1975. –239с.
11. Nenad Zrnić, Zoran Petković, Srđan Bošnjak - Automation of Ship-To-Shore Container Cranes: A Review of State-of-the-Art - FME Transactions (2005) 33, p. 111-121.
12. Edvin Raubar, Damir Vrančić. Anti-Sway System for Ship-to-Shore Cranes - Journal of Mechanical Engineering 58(2012)5, p. 338-344/
13. P.A. Ioannou, E. B. Kosmatopoulos, H. Jula, A. Collinge, C.-I. Liu, A. Asef-Vaziri. Cargo Handling Technologies: Report for the Center for Commercial Deployment of Transportation Technologies - University of Southern California Works, 2000. – 147 p.
14. Oddvar Gjelstenli. Anti-Sway Control and Wave Following System for Offshore Lattice Crane - Norwegian University of Science and Technology Works, 2012 – 121 p.

## СОВРЕМЕННЫЕ КОНЦЕПЦИИ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ СУДОВ

О.В. Глазева, к.т.н., доцент  
В.Б. Власов, инженер высшей категории  
Одесская национальная морская академия

Системы электродвижения (СЭД) предназначены для обеспечения движения судна на всех ходовых режимах. По сравнению с традиционными пропульсивными комплексами, базирующихся на использовании тепловых двигателей (дизелей и турбин), СЭД имеют ряд преимуществ:

- за счет обеспечения качества регулировочных характеристик, которые улучшают маневренные показатели судна;
- обладают высокими перегрузочными способностями, что позволяет судну работать в сложных ледовых условиях;
- обеспечивают высокий КПД во время работы при долевых нагрузках;
- обеспечивают возможность оптимального размещения оборудования в помещениях судна;
- обеспечивают высокую надежность электроэнергетической установки в целом;
- обладают хорошими виброшумовыми характеристиками;
- снижают вредные эксплуатационные выбросы в атмосферу.

К основным недостаткам судов, использующих электродвижение можно отнести:

- увеличение состава оборудования;
- увеличение стоимости судна;
- увеличение массогабаритных показателей, а соответственно ухудшение объемных характеристик судна в целом.

Однако, указанные недостатки могут быть скомпенсированы за счет рационального размещения оборудования в машинном отделении – не по горизонтали, а по вертикали, когда дизель генераторы размещаются на платформе, гребные электродвигатели под ними в трюме, поскольку связь осуществляется не по линии вала, а по кабелю. Следовательно, судно может быть меньшей длины, что уменьшает затраты металла на строительство корпуса, а следовательно снижает его вес.

На рисунке 1 приведена схема расположения оборудования электрохода с генераторами фиксированной частоты и напряжения.

В состав СЭД входит:

- движитель;
- гребные электродвигатели (ГЭД);
- полупроводниковые преобразователи;
- силовые трансформаторы;
- щитовое оборудование: ГРЩ, ЩЭД;
- комплексные системы управления;

- генераторные агрегаты.

В качестве движителей в составе СЭД применяются гребные винты или азимутальные винто-рулевые колонки (ВРК).

Гребные винты получили широкое распространение в качестве основного движителя благодаря своей простоте и высокой эффективности, а также за счет обеспечения высокого КПД при использовании винтов фиксированного шага (ВФШ). Благодаря этим преимуществам ВФШ используются на большинстве транспортных судов. Однако для ВФШ существует один совершенно определенный расчетный режим работы, для которого и определены его характеристики обеспечивающие наивысшую эффективность. На других режимах винт становится или «легким», или «тяжелым», и при этом он становится не способным использовать полную мощность приводного двигателя.

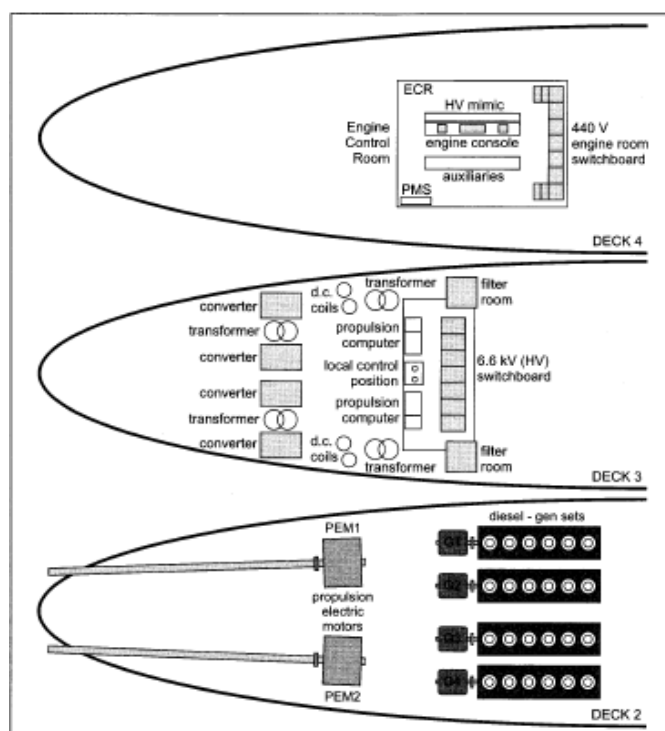


Рисунок 1 – Схема расположения оборудования электрохода с генераторами фиксированной частоты и напряжения

HV- high voltage – высокое напряжение; Engine Control Room (ECR) – центральный пост управления ЦПУ; Power Management System (PMS) – система управления мощностью; 440V engine room switchboard – щит 440В в машинном отделении; DECK – палуба; Converter – преобразователь; Transformer – трансформатор; d.c.coils – реакторы; propulsion computer – компьютер управления электродвижением; local control position – пост местного управления; filter room – помещение фильтров; 6.6 kV (HV) switchboard – распределительный щит 6,6 кВ высокого напряжения; Propulsion electric motors (PEM) – гребные электродвигатели; Diesel-gen sets – дизель-генераторы.

В качестве более рационального варианта обеспечения работы движительного комплекса является использование гребных винтов регулируемого шага (ВРШ). Их несомненное достоинство в том, что они позволяют обеспечить работу приводного двигателя в номинальном режиме при практически любых условиях плавания за счет изменения угла разворота лопастей, т.е. из-

менения шага винта. Однако, коэффициент полезного действия (КПД) ВРШ на расчетном режиме всегда меньше, чем у ВФШ, а при изменениях шага винта КПД ВРШ дополнительно уменьшается.

Рассмотрим основные варианты применяемых схем СЭД (рис.2).

Для обеспечения высоких мощностей предпочтительнее иметь несколько синхронных электродвигателей, работающих на винт с фиксированным шагом (ВФШ) с регулированием частоты вращения посредством частотных преобразователей. В некоторых установках используется комбинация винта с регулируемым шагом (ВРШ) с частотно-регулируемым электродвигателем.

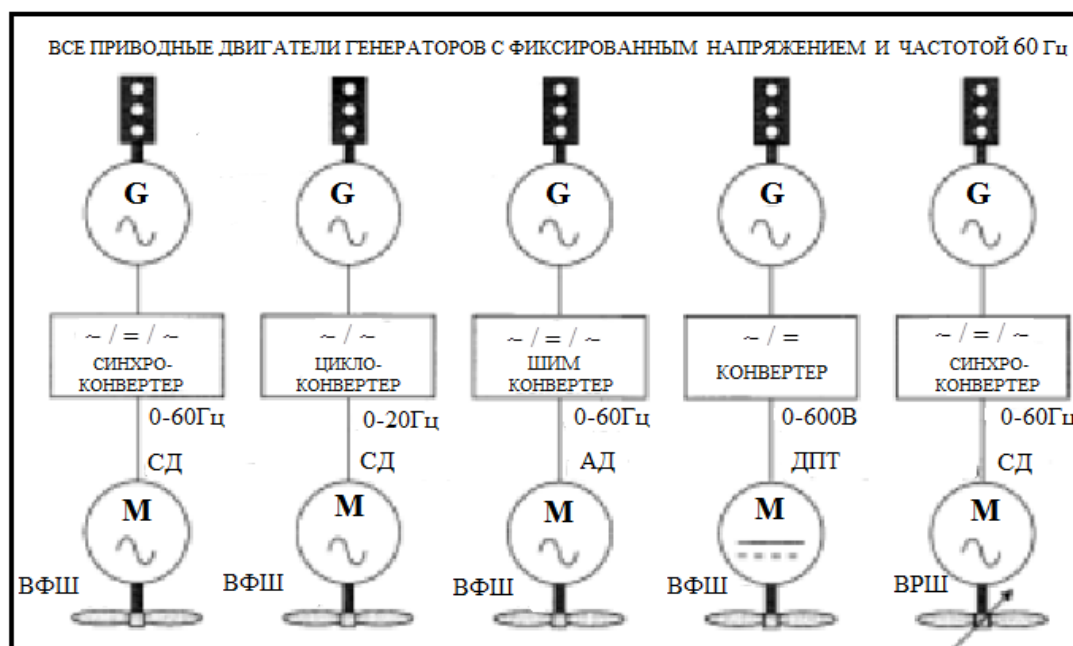


Рисунок 2 – Варианты схем СЭД

СД – синхронный электродвигатель; АД – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором; ДПТ – двигатель постоянного тока; ВФШ – винт фиксированного шага; ВРШ – винт регулируемого шага; ШИМ – широтно-импульсная модуляция.

В пропульсивных установках небольшой и средней мощности (1-5 МВт) в качестве ГЭД могут применяться асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором в комбинации с частотными преобразователями или электродвигатели постоянного тока с неуправляемыми выпрямителями или с управляемыми преобразователями напряжения.

В качестве приводных двигателей генераторов чаще всего используются дизели с фиксированной частотой вращения.

С целью более эффективного использования оборудования гребной электрической установки (ГЭУ), упрощения его обслуживания, повышения экономии топлива и увеличения грузоподъемности судна развитие ГЭУ и электроэнергетических систем (ЭЭС) пошло по пути объединения источников питания ГЭУ и общесудовых потребителей в единые ЭЭС (ЕЭЭС).

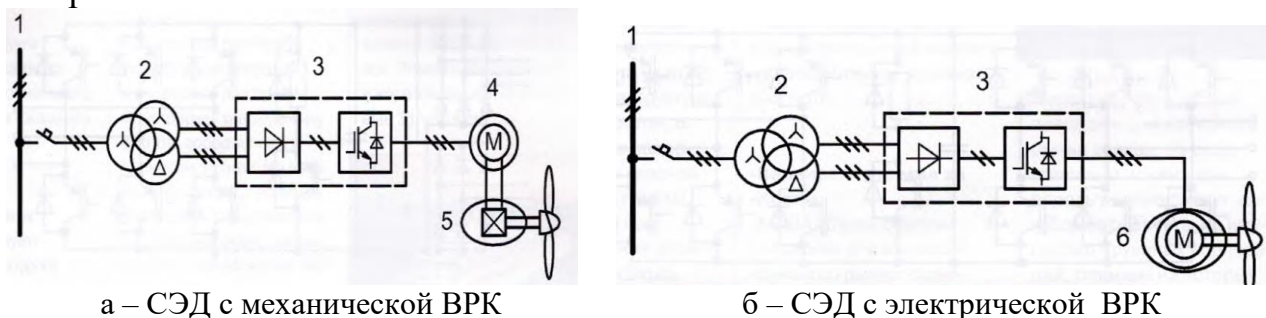
В состав ЕЭЭС могут входить преобразователи энергии различного типа:

- механические – с прямой передачей на гребной винт;
- электрические (преобразователи частоты и управляемые выпрямители);
- комбинация механических и электрических преобразователей.



Типовая структурная схема СЭД с механической и электрической ВРК представлена на рис.3.

В состав СЭД входят: ВРК (механическая (5), электрическая (6)), гребной электродвигатель ГЭД (4), преобразователь частоты ПЧ (3), трехобмоточный трансформатор ТВ (2), распределительный щит РЩ (1). Для улучшения гармонического состава напряжения в судовой сети питание гребного электропривода осуществляется через трехобмоточные трансформаторы с разведенными вторичными обмотками, что позволяет реализовать 12- или 24-пульсную схемы выпрямления.



а – СЭД с механической ВРК

б – СЭД с электрической ВРК

Рисунок 3 – СЭД традиционного исполнения

Принципиальная схема судовой системы электродвижения с механической ВРК приведена на рис. 4.

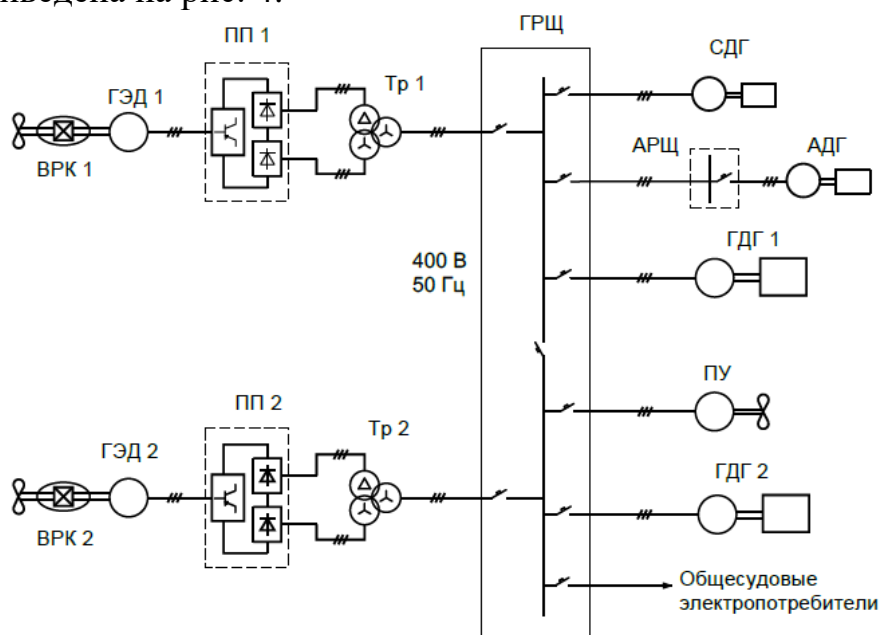


Рисунок 4 – ЕЭУ малого гидрографического судна

Традиционно, гребной вал соединен непосредственно с гребным электродвигателем, который расположен внутри судна. Но опыт эксплуатации некоторых вспомогательных судов и особенно ледоколов, на которых ГЭД были расположены вне пределов корпуса судна (электрическая ВРК), показали большие преимущества так называемых AZIPOD, в которых подвижная гондола, установленная обычно под корпусом судна, в которой находится ГЭД, может вращаться на  $360^{\circ}$  с приложением гребного усилия в любой точке. Это поз-

воляет отказаться от традиционных рулевых установок и кормовых подруливающих устройств. Маневренность судна и грузопассажиро-местимость при этом значительно увеличивается, а вибрация судна – уменьшается.

В настоящее время создается новый тип СЭД (рис.5) на базе двигательно-движительных систем кольцевой конструкции с погружным электроприводом (ДДС КК).

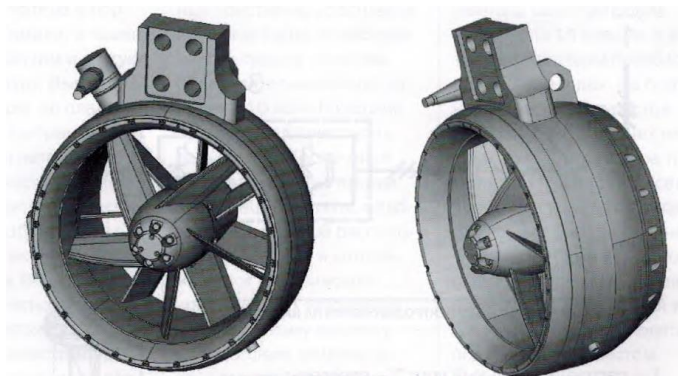


Рисунок 5 – ДДС КК

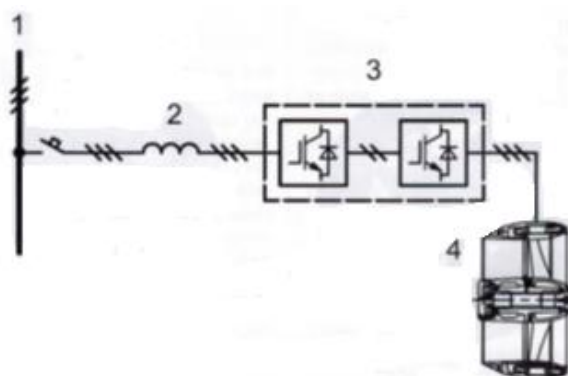


Рисунок 6 – СЭД на базе ДДС КК

Принципиально новым элементом в ДДС КК по сравнению с другими типами ВРК является погружной ГЭД кольцевого типа, совмещенный с гребным винтом. Благодаря интеграции двигателя и движителя в единую конструкцию, в отличие от традиционных механических ВРК с Z-образной и L-образной передачами, в ДДС КК отсутствуют тяжелые валы и сложный, дорогостоящий, громоздкий конический редуктор.

В качестве ГЭД, в отличие от традиционных СЭД, ДДС КК применяется синхронная машина на постоянных магнитах. Использование синхронного ГЭД с возбуждением на постоянных магнитах повышает КПД и надежность, снижает массогабаритные показатели ДДС КК.

В отличие от электрических ВРК типа AZIPOD, корпус ГЭД в ДДС КК не препятствует потоку воды при работе гребного винта, поскольку последний находится внутри полого ротора. Использование ДДС КК такой конструкции значительно повышает гидродинамический коэффициент полезного действия СЭД в целом.

Структурная схема СЭД нового поколения на базе ДДС КК и ПЧ на базе активных выпрямителей (АВ) представлена на рис.6. В состав СЭД входит ДДС КК (4), предназначенная для создания упора и обеспечения движения судна, модульный обратимый ПЧ(3), выполненный на базе АВ и автономного инвертора (АИ), предназначенного для регулирования вращающего момента и частоты вращения ГЭД, дроссель (2), электrorаспределительный щит (1) и автоматизированная система управления (на схеме не показана).

В качестве ГЭД перспективным является использование вентильного индукторного двигателя (ВИД). В сравнении с синхронными двигателями с электромагнитным возбуждением или с возбуждением от постоянных магнитов, ВИД конструктивно проще и надежнее, а их стоимость ниже. По основным эксплуатационным характеристикам они не уступают высокоэффективным

вентильным двигателям с постоянными магнитами. Следует отметить высокую надежность силового инвертора ВИД, которая обусловлена схемными решениями, исключающими возможность сквозных коротких замыканий в инверторе. Принципиальная схема ЕЭУ морского буксира-спасателя на базе индукторного ГЭД приведена на рисунке 7.

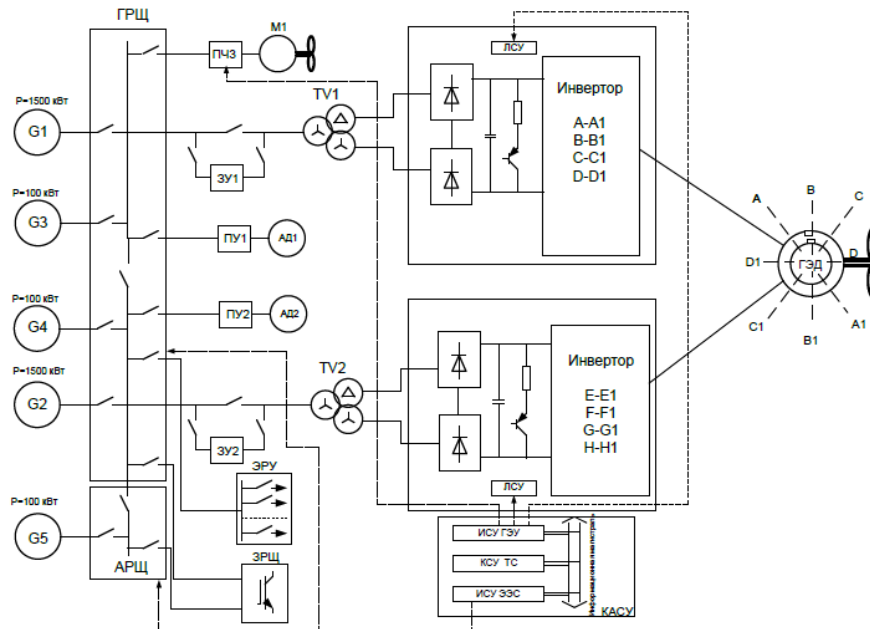


Рисунок 7 – ЕЭУ морского буксира-спасателя на базе индукторного ГЭД

Наиболее перспективным направлением развития корабельной энергетики в настоящее время, считается переход ее на полное электродвижение. Реализация задач создания малошумной, надежной, экономичной, обеспечивающей высокую маневренность всережимной ГЭУ неизбежно приводит к идее использования в них "электрического гребного вала". Это позволяет исключить из состава установки наиболее виброактивный узел – зубчатую передачу, существенно сократить длину линии вала, упростить конструкцию главной турбины и обеспечить благоприятные условия для ее эксплуатации.

На рисунке 8 приведена схема энергетической установки (ЭУ) с полным электродвижением, реализованная на спасательно-буксирном судне.

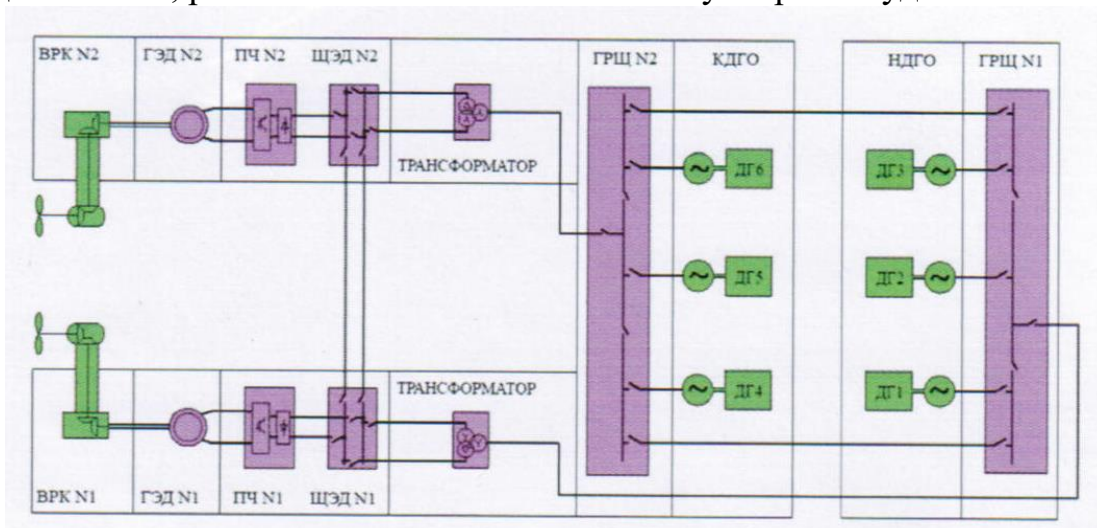


Рисунок 8 – Схема ЭУ с полным электродвижением

ЭУ судна создана по принципу: единая электроэнергетическая система (ЕЭЭС) на базе дизель-генераторов, гребных электродвигателей и полноповоротных винторулевых колонок. Для изменения частоты вращения ГЭД используется частотное регулирование. Электроэнергетическая система состоит из двух главных распределительных щитов (ГРЩ), трансформаторов повышения напряжения, щитов электродвижения и преобразователей частоты вращения ГЭД.

Поскольку энерговооруженность судов неуклонно возрастает, возникла и практически реализовалась потребность в применении системы высокого напряжения для обеспечения судовых нужд (3,3 кВ, 6,6кВ или 11 кВ). Речь идет прежде всего о круизных пассажирских лайнерах, пассажирских паромах, больших контейнеровозах, офшорных судах а также платформах и специальных судах (плавзаводах для производства, хранения и выдачи продуктов переработки нефти и газа, судов подводного плавания). Генерирование судовой электроэнергии в стандартах высокого напряжения является более выгодным по сравнению со стандартом 440 В, 60Гц.

Приведем небольшой пример:

Судовая электростанция 440В; 60 Гц; 6 МВт состоит из трех генераторов по 2МВт с  $\cos \varphi = 0,8$ . Расчетный ток короткого замыкания (кз) на ГРЩ равен 90 кА, а номинальная нагрузка на каждый генераторный автомат и кабельную

систему составляет 
$$I = \frac{2000000}{\sqrt{3} \cdot 440 \cdot 0,8} = 3300 \text{ А.}$$

В тоже время, при системе 6,6кВ расчетный ток кз для высоковольтного ГРЩ равен 9кА, а номинальный ток составит лишь 220А.

Таким образом, на современных электроходах вопрос о целесообразности применения высокого напряжения не является дискуссионным, он очевиден.

Особое место СЭД занимают в военном кораблестроении. Применение полного электродвижения для боевых кораблей водоизмещением около 2000т, имеющих в составе ЭУ газотурбинные двигатели (ГТД), возможно при производстве комплектующих нового технического уровня – ГТД сложного цикла, высоковольтного (6000-12000 В) оборудования и др.

В качестве примера ЭУ с полным электродвижением можно назвать ЭУ эсминца «Daring» (Type 45) ВМС Великобритании. Первичные источники электроэнергии напряжением 4,16 кВ, мощностью 21 МВт приводятся ГТД WR21 сложного цикла. Генераторы объединены электросетью и через преобразователи частоты вращения подают энергию на ГЭД мощностью 20МВт, соединенные с валопроводами гребных винтов (рис.9).

На высоких скоростях (более 16-18 уз) преимущество электродвижения по шумности утрачивается, поскольку основной составляющей подводного шума является шум от гребных винтов. Вследствие этого большой интерес представляют ЭУ с частичным электродвижением, сочетающие тепловые двигатели с высокой удельной мощностью (ГТД) и высоковольтные ГЭД (например, схема GODLOG) рис.10.

На режимах движения до 16-18 уз работают ГЭД от судовой электростанции через ЭЭС с преобразователями частоты. На режимах свыше 16-18 уз работают ГТД через редукторные передачи на ВРШ.

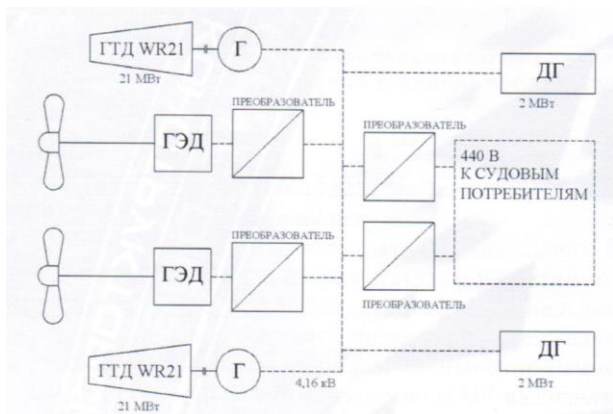


Рисунок 9 – Схема ЭУ с полным электродвижением эсминца *Type 45*

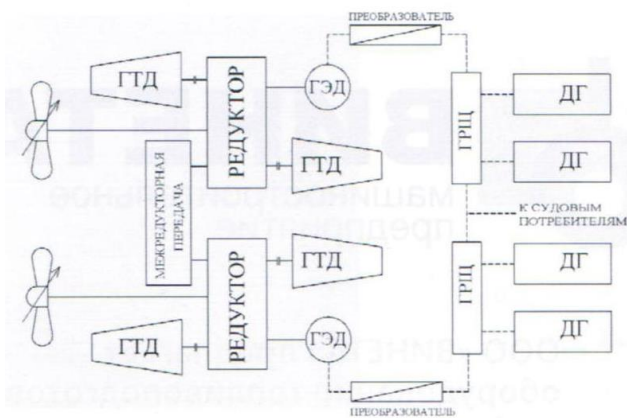


Рисунок 10 – Схема ЭУ с частичным электродвижением типа GODLOG

Значительный прогресс в применении эффекта сверхпроводимости (СП) предполагает использование этого эффекта и в судовом электродвижении. Новое поколение генераторов и двигателей смогут работать при охлаждении их обмоток до сверхнизких температур при котором электросопротивление стремится к нулю. В этих условиях электрические потери ( $R \cdot I^2$ ) также становятся равными нулю, таким образом через обмотки электрических машин с малым поперечным сечением проводов станет возможным пропускать исключительно большие токи и создавать исключительно большое электромагнитное поле.

Применение электромагнитной силы для электродвижения судна также вызывает исключительный интерес. В результате взаимодействия тока и магнитного потока в проводнике сверхтока (морская вода) возникает механическая сила, вызывающая линейный упор для движения судна (в этом случае нет необходимости в применении вращающегося винта)(рис.10).

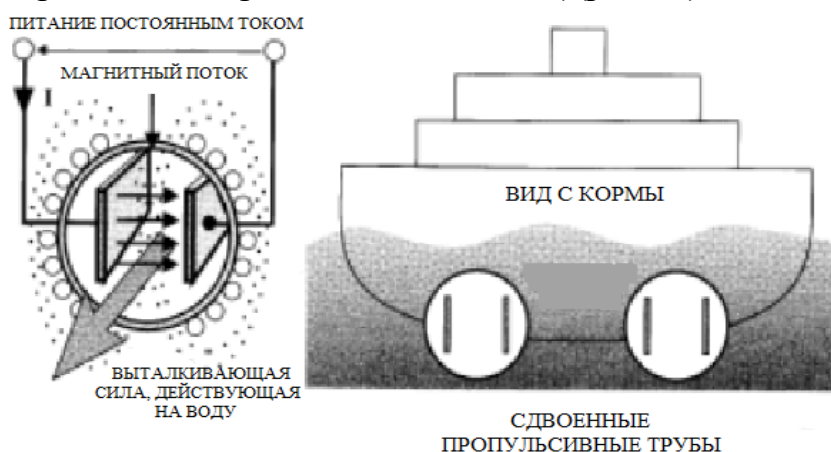


Рисунок 10 – Линейный электропривод

Разделяя правую и левую пропульсивные трубы на короткие участки вдоль корпуса судна, учитывая размер и расположение отдельных пропульсивных труб (трастеров) можно отказаться от традиционных (классических) рулевых и подруливающих устройств. Однако, основной выигрыш от СП техноло-



гий на флоте заключается в невиданной ранее свободе конструирования судна: дизели (или турбины), могут быть размещены без жесткой привязки к гребному валу.

Исходя из всего выше сказанного, можно прогнозировать перспективы дальнейшего развития ЭЭС по следующим основным направлениям:

- применение высокого напряжения;
- внедрение сверхпроводниковых электрических машин;
- увеличение единой мощности генераторов и нагрузки;
- совершенствование структур ЭЭС и электрооборудования;
- применение регулируемых электроприводов различных типов;
- широкое применение вычислительных комплексов автоматизированного управления ЭЭС и ГЭУ, технического диагностирования, защиты и контроля.

Таким образом, при решении вопросов проектирования и строительства судов с электродвижением необходим комплексный подход к вопросам взаимосвязи и объединения основных функциональных элементов (ГЭД, ВРК, ПЧ и т.д.) в рамках решения поставленных перед судном задач. Именно поэтому концепция развития ЕЭЭС судов с электродвижением весьма актуальна.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Dennis T.Hall Practical Marine Electrical Knowledge, 1999.
2. А. Григорьев Судовая система электродвижения нового поколения. Журнал «Морской флот», 2012г. – №2. – С.38-40.
3. Д.В. Умяров, О.С. Хватов, Д.В. Литов, В.В. Гуляев Состояние и перспективы развития систем судового электродвижения. // Конгресс Международного форума «Великие реки», 2013 г. – С. 421 – 424.
4. К.Г. Голубев Энергетические установки кораблей с электродвижением // Журнал «Морской вестник», 2013г. – №2(46). –С. 38-39.
5. В.И. Щербаков ВТСП приводы и генераторы для нужд флота. Информационный бюллетень «Сверхпроводники для электроэнергетики», том 4, выпуск 3, 2007г.

УДК 621.396

## ОПТИМИЗАЦИЯ СИГНАЛОВ И ФИЛЬТРОВ ДЛЯ СЛУЧАЯ СИГНАЛОПОДОБНЫХ ПОМЕХ

В.М.Кошевой, д.т.н., профессор

И.И.Котляр, курсант

Одесская национальная морская академия

Целью работы является оптимизация сигналов фильтра для случая сигналоподобных помех.

СПП (Сигналоподобные помехи) по структуре подобны полезному сигналу на выходе какого-либо устройства и отличаются лишь информационным параметром, описывающим временное запаздывание.

Хорошая периодическая АКФ выполняет не только роль полезного вспомогательного инструмента для синтеза хороших аperiodических последовательностей, но и ценна самостоятельно. Примеры подобного рода дают дальномерные системы с непрерывным излучением, в особенности на больших расстояниях, пилотный канал и канал синхронизации в цифровых системах передачи данных, радарные и сонарные системы с непрерывным излучением и т.п. Прделаны расчеты периодического и а-периодического сигнала для  $N=5$ ;  $s[1\ 1\ 1\ -1\ 1]$ .

На рис.1 видно подавление боковых лепестков в периодическом сигнале при рассогласованной обработке до уровня 0.

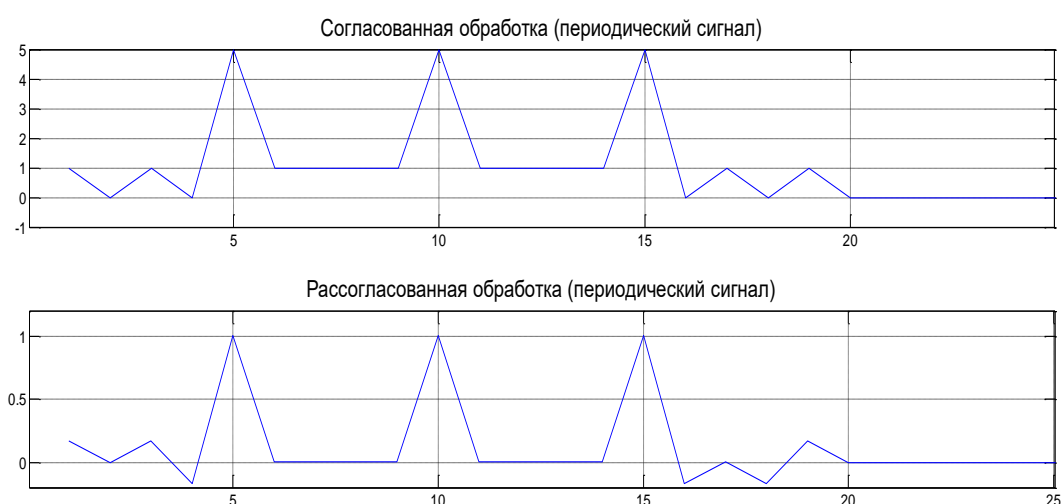


Рисунок 1 – Периодический сигнал

На рис.2 подавление боковых лепестков при рассогласованной обработке достигает только уровня 0.2.

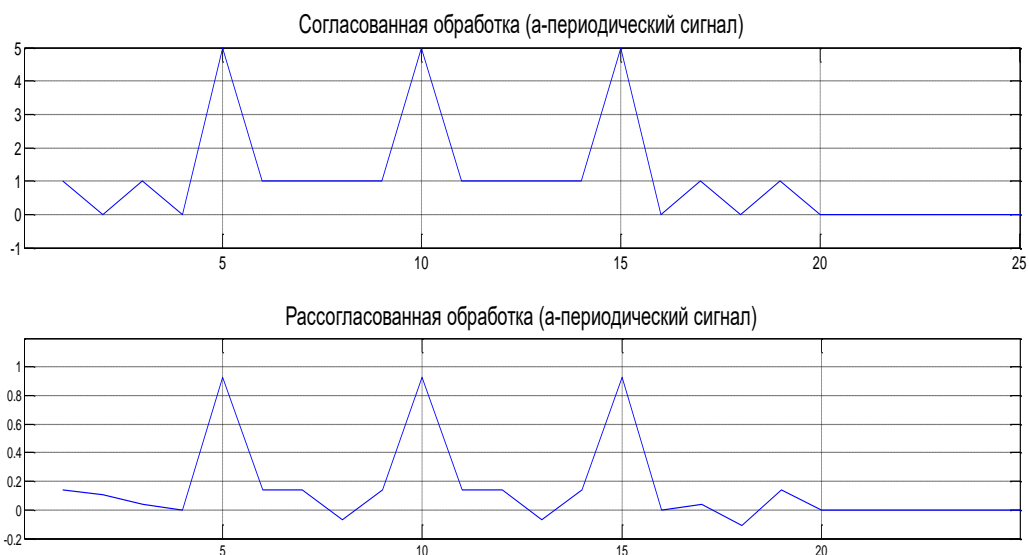


Рисунок 2 – А-периодический сигнал

Рассмотрен алгоритм оптимального фильтра для периодического и а-периодического сигналов. Из графиков видно, что в периодическом сигнале удастся получить полное подавление боковых лепестков. Однако а-периодический сигнал уменьшается, но не дает полного подавления боковых лепестков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ипатов В. П.. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения – В.: Техносфера, 2007. – 488 с.
2. Кук Ч. Бернфельд М. Радиолокационные сигналы., М.: Сов. Радио, 1971. – 252с.

УДК 621.391.83

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ И ФИЛЬТРОВ

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор  
 И.Я. Горишная, аспирант  
 Одесская национальная морская академия

Понятие функции неопределенности было введено П. М. Вудвордом, он использовал эту функцию для решения задачи, связанной с преобразованием отраженного сигнала (эхо) фильтром, настроенным на излучаемый сигнал. Сигналы представляли собой функции времени запаздывания и частоты. Благодаря существованию отношения между частотно-временным представлением и функцией неопределенности, последняя играет важную роль при исследовании сильно модулированных по фазе и частоте сигналов [1]. Предположим, что проектировщик системы не склонен отвергать бинарные  $\{\pm 1\}$  последовательно-



сти и, в то же время, не удовлетворен достижимым уровнем боковых лепестков их периодической АКФ ( $\rho_{p, \max} \geq 1/N$ ). В подобных условиях эффективным способом разрешения этих противоречивых устремлений служит «имитация» идеальной периодической АКФ путем отказа от согласованной фильтрации в пользу специальной рассогласованной обработки, позволяющей подавить боковые лепестки на всем периоде сигнала [2]. Рассматривается согласованная и рассогласованная фильтрации. Для использования сигналов, типа М-последовательности, в радиолокации важное значение приобретает снижение уровня боковых лепестков взаимной функции неопределенности, а точнее обеспечение нулевого уровня боковых лепестков. С помощью специальной весовой обработки (несогласованной фильтрации) обеспечивается сколько угодно малый уровень боковых лепестков при контролируемых потерях в отношении сигнал/шум. Результатом работы стали графики зависимости корреляционных функций на выходе согласованного и несогласованного фильтров от доплеровского сдвига сигналов  $N=3$  [1; 1; 1],  $N=7$  [1; 1; 1; 1; 1; 1; -1],  $N=9$  [1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; -1],  $N=12$  [1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1].

С помощью формулы (1) были рассчитаны весовые коэффициенты оптимального фильтра:

$$W = R^{-1}S, \quad (1)$$

где  $R$  - корреляционная матрица сигналоподобной помехи.

Графики сигнала  $s = [1; -1; -1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1]$  на выходе фильтра при согласованной и рассогласованной обработке приведены ниже:

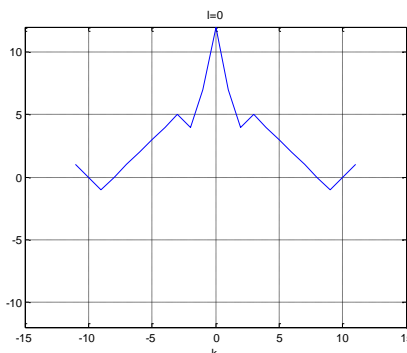


Рисунок 1 - Апериодический сигнал  $N=12$  на выходе согласованного фильтра при сечении  $l=0$ .

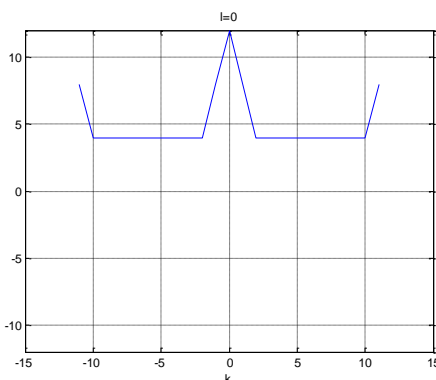


Рисунок 2 - Периодический сигнал  $N=12$  на выходе согласованного фильтра при сечении  $l=0$ .

Значения в случае в случае рассогласованной обработки для аperiodического сигнала при  $N=12$   $w = [0.1595, -0.1612, -0.1648, 0.1139, -0.0077, 0.1068, -0.0103, 0.0704, -0.0189, 0.0618, -0.0362, 0.0267]$  и  $p = 0.4573$ .

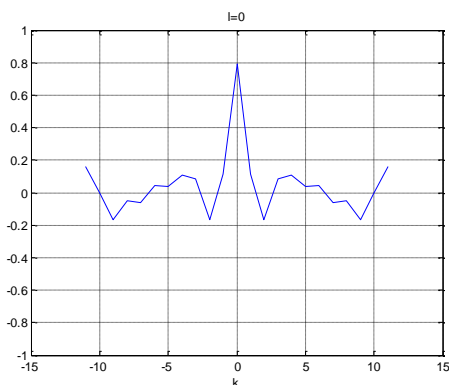


Рисунок 3 - Аperiodический сигнал  $N=12$  на выходе рассогласованного фильтра при сечении  $l=0$ .

Оптимальный фильтр, рассчитанный для периодического случая, также позволяет получать частичное подавление боковых лепестков для аperiodического случая.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Е. Варакин. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
2. В. П. Ипатов. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения – В.: Техносфера, 2007. – 488 с.

УДК 621

### ВОПРОСЫ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ЕКДИС ДЛЯ УКВ РАДИОСВЯЗИ

В.М. Кошевой, д.т.н. профессор

С.В. Курочкин, курсант

Одесская национальная морская академия

#### 1. ЕКДИС на современном судне и его роль.

ЕКДИС на современном судне является основной навигационной системой, наиболее используемой судоводителем. Учитывая тенденцию развития технических средств судовождения, роль ЕКДИС на судне будет постоянно возрастать.

Роль ЕКДИС для безопасного судоходства неоспорима, тем не менее, её потенциал в этом направлении далеко не исчерпан. Функциональные возможности современной ЕКДИС обеспечивают взаимодействие отдельных судовых навигационных систем: ГЛОНАС, GPS, РЛС, САРП, АИС. Интегрирование разных систем позволяет оптимизировать управление судном, исключить воз-

возможные ошибки и неверные решения оператора-судоводителя.

## 2. Недостаток существующей системы связи (ЦИВ).

Интегрирование разных систем, развитие концепции интегрированного навигационного мостика позволяет управлять судном из одного рабочего места – оператора ЕКДИС. ЦИВ не подходит для быстрой оперативной связи с выбранным судном и должен быть модифицирован. В любом случае, используя ЦИВ, УКВ радиотелефония имеет недостаток, который проявляется в отсутствии быстрой, точной и надежной идентификации вызываемого судна. Устранение этой проблемы может быть достигнуто в пределах существующего судового оборудования путём интегрирования УКВ ЦИВ контролера и навигационного оборудования АИС-ЕКДИС. При этом все базовые функции интегрированных систем сохраняются.

## 3. Интегрирование УКВ ЦИВ с АИС – ЕКДИС.

Интегрирование УКВ ЦИВ с АИС – ЕКДИС позволяет:

а) исключить саму процедуру ручного формирования ЦИВ на контролере, заменяя её «кликом» по отметке судна на ЕКДИС; и дальше сразу осуществляется ЦИВ вызов.

б) обеспечить идентификацию судна, которое осуществляет вызов, на электронной карте, и таким образом сделать мгновенным автоматический процесс привязки судна, которое осуществляет вызов, к навигационной обстановке. Судно, может быть отображено мигающей отметкой, которая позволяет вахтенному офицеру вызываемого судна, быстро оценить навигационную ситуацию и принять эффективное решение, и после этого, снимает трубку и ведет радиотелефонный обмен, не тратя времени даром на языковую идентификацию судов, которые выходят на связь.

Интегрирование УКВ ЦИВ в АИС-ЕКДИС не вносит никаких изменений в существующие эксплуатационные процедуры радиосвязи. При этом сохраняются все штатные функции формирования и просмотра ЦИВ.

Интегрирование УКВ ЦИВ в АИС-ЕКДИС позволяет обеспечивать дальнейшее повышение безопасности мореплавания при помощи упрощения интерфейса судоводителя с оборудованием радиосвязи и навигации, и ускорением действий оператора (COMSAR 15/inf – 3). Данное предложение полностью вписывается в стратегическое направление развития электронной навигации, которое предусматривает новый подход в использовании существующих средств радиосвязи и навигации, а также внедрения современных цифровых информационных технологий в судовождение и управление судном.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1.COMSAR8/4/1,
- 2.COMSAR 14/7;
- 3.COMSAR 15/INF-3 and resolution MSC.74(69)

## ОПТИМИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ АПЕРИОДИЧЕСКИХ И ПЕРИОДИЧЕСКИХ ДИСКРЕТНЫХ АФМ СИГНАЛОВ

В.М.Кошевой, д.т.н., профессор

А.В.Полищук, аспирант

Одесская национальная морская академия

В задачах временного измерения и разрешения во времени основное достоинство широкополосности состоит в возможности распределения энергии сигнала на значительном временном интервале, тем самым, снижая пиковую мощность.

Сигналы с ФМ, свободные от амплитудной модуляции, представляют собой предельную версию такого расширения, позволяющую получить пик-фактор  $V$  сигнала (отношение пиковой к средней мощности), равный единице. Для любого ФМ сигнала  $|a_i|=1, i=0,1,\dots,N-1$ , так что  $|a_0 a_{N-1}|=1$ , и крайний правый боковой лепесток аперiodической АКФ  $|\rho_a(N-1)|=1/N$ .

Следовательно, максимальный боковой лепесток ФМ сигнала ограничен снизу величиной:

$$\rho_{a, \max} \geq 1/N \quad (1)$$

ФМ сигналы, удовлетворяющие данной границе, будут оптимальными.

В честь ученого, первым предпринявшего поиск подобных сигналов, они получили название кодов Баркера. Традиционно бинарные последовательности с символами  $\pm 1$  считаются наиболее привлекательными, поскольку в наибольшей степени отвечают цифровой схемотехнике и гарантируют наименьшую сложность в их формировании и обработке. Ниже представлены все бинарные коды Баркера (см.табл.1.).

Таблица 1- Бинарные коды Баркера

$N$	Код												
2	+	-											
3	+	+	-										
4	+	+	-	+									
5	+	+	+	-	+								
7	+	+	+	-	-	+	-						
11	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-		
13	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+

Таблица 2 иллюстрирует вычисление аперiodической и периодической АКФ кода Баркера длины  $N=7$ . Не только аперiodическая, но и нормирован-

ная периодическая АКФ характеризуется максимальным боковым лепестком, равным  $1/N$ .

Таблица 2- Вычисление АКФ бинарного кода Баркера длины 7

$m$								$R_a(m)$	$R_p(m)$
0								+7	+7
1	■							0	-1
2	■	■						-1	-1
3	■	■	■					0	-1
4	■	■	■	■				-1	-1
5	■	■	■	■	■			-0	-1
6	■	■	■	■	■	■		-1	-1

Рассмотрим кратко процедуру согласованной фильтрации сигнала Баркера на некотором конкретном примере. Изображена структура согласованного фильтра для сигнала Баркера длины  $N=7$  (см.рис.1).Первым блоком данной структуры является линия задержки с отводами, разделенными во времени на величину, равную периоду следования чипов  $\Delta$ . Выходные сигналы отводов линии задержки подаются на сумматор с весами, определяемыми как зеркальное отражение символов кода. Второй частью структуры служит фильтр, согласованный с одиночным чипом (СФОИ). Чтобы убедиться в том, что указанная схема является искомым согласованным фильтром, достаточно осуществить проверку, подав на ее вход дельта-импульс. Выходной отклик представит собой зеркальное отображение сигнала, что в точности соответствует реакции согласованного фильтра (см. рис.1).

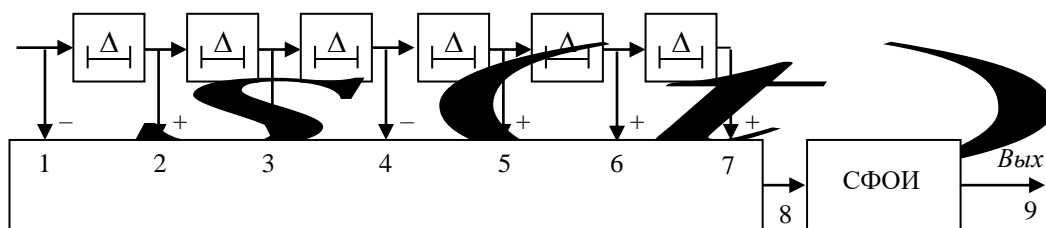


Рисунок 1- Согласованный фильтр для бинарного сигнала Баркера длины  $N=7$ .

Схема иллюстрирует в деталях согласованную фильтрацию видеосигнала Баркера, составленного из чипов с прямоугольной огибающей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Eliahou, S., and Kervaire, M. "Barker sequences and difference sets", L'Enseignement Mathématique, vol. 38, pp. 345-382, 1992.
2. Ipatov, V. P., and Fedorov, B.V. "Regular binary sequences with small losses in suppressing sidelobes", Radioelectron. a. Commun. Syst. (Radioelektronika), vol. 27, no.3, pp. 29-33, 1984.
3. Hamkins, J., and Zeger, K. "Improved bounds on maximum size binary radar array", IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 43, pp. 997-1000, 1997.
4. Ipatov, V. P., "Choice of periodical PSK signal and filter combination", Radioelectron. a. Commun. Syst. (Radioelektronika), vol. 21, no.4, pp. 49-55, 1978.

## СИНТЕЗ СОСТАВНЫХ МНОГОФАЗНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ РАБОТЫ В ПЕРИОДИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

В.М.Кошевой, д.т.н., профессор  
Е.Л.Пашенко, аспирант  
Одесская национальная морская академия

Большинство современных судовых радиолокационных станций используют импульсный режим работы. Однако такой режим работы обладает существенным недостатком. Применение таких сигналов требует использования высокой пиковой мощности излучения, что негативно сказывается на здоровье членов экипажа, а также ухудшает условия по электромагнитной совместимости, как указывалось в работах [1], [2]. В этих работах эти недостатки исключались за счет использования бифазных сигналов, что позволяло уменьшить пиковую мощность излучения. Эта задача может быть решена также в рамках использования многофазных сигналов, которые при этом позволяют получить ряд дополнительных полезных свойств, которыми не обладают бифазные сигналы. Все это является основанием для дальнейших исследований методов синтеза фазокодированных сигналов.

Составные апериодические многофазные сигналы, рассмотренные в [3], были получены путем перемножения двух последовательностей базовой и внешней. Закон изменения комплексных амплитуд сигнала имеют следующий вид:

$$u_1 = \exp\left[j\frac{\pi}{4}\alpha' \left(2 \left( (n+1) - E\left[\frac{n}{N_b}\right] N_b \right) - (N_b + 1) \right)^2\right] \quad (1)$$

$$u_2 = \exp\left[j\frac{\pi}{4}\beta' \left(2 \left( E\left[\frac{n}{N_b}\right] + 1 \right) - (N_b + 1) \right)^2\right], \text{ где } n = \overline{0, N-1} \quad (2)$$

где  $\alpha' = \alpha T_0^2$ ;  $\beta' = \beta (T_0 N_b)^2$ ;  $\alpha, \beta$  – параметры определяющие заданное направление гребней функции неопределенности (ФН) базовой и внешней последовательности соответственно;  $T_0$  – длительность одного импульса;  $N_b$  – число импульсов в базовой последовательности;  $N_b$  – число импульсов внешней последовательности;  $N$  – количество импульсов в сигнале;  $E[x]$  – целая часть  $x$ .

ФН составного многофазного сигнала представляет собой произведение ФН каждого из этих сигналов. ФН каждого из этих сигналов имеет гребнеобразную структуру. При их перемножении ФН составного многофазного сигнала будет иметь многопиковую структуру. Полученную ФН будем разделять на три области, образованные перемножением:

1. Гребень на гребень, то есть область центрального пика (ЦП).
2. Гребень на отсутствие гребня.
3. Отсутствие гребня на отсутствие гребня.

В качестве примера были рассмотрены составные многофазные сигналы с одинаковым набором импульсов базовой и внешней последовательности. Рас-

смотрены сигналы с числом позиций  $N=324$  ( $N_{\sigma}=18$ ,  $N_e=18$ ),  $N=400$  ( $N_{\sigma}=20$ ,  $N_e=20$ ) при значениях коэффициентов  $\alpha'=-1/N_{\sigma}$ ,  $\beta'=1/N_{\sigma}^2$  в периодическом и аperiodическом режимах работы. ФН сигнала расположена в области эквивалента частот  $l$  и эквивалента времени  $k$ .

Во всех четырех случаях, что в аperiodическом, что в периодическом режимах, тело ФН имеет ярко выраженный многопиковый характер. Однако в периодическом режиме наблюдается раздвоение пиков с центра координат в область отрицательных значений  $l$ . Вокруг ЦП образуется свободная зона. Чем больше импульсов в сигнале, тем больше площадь свободной зоны вокруг ЦП. Уменьшить уровень боковых лепестков в свободной области можно за счет использования весовой обработки базовой и внешней последовательностей. Весовая функция обработки всего сигнала при этом может быть записана в виде:

$$W_m = W_{m-E[(m-1)/N_{\sigma}]N_{\sigma}}^{\delta} W_{E[\frac{m-1}{N_e}]_{+1}}^{\beta}, \quad m = \overline{1, N} \quad (3)$$

где  $W_{m-E[(m-1)/N_{\sigma}]N_{\sigma}}^{\delta}$  - весовые коэффициенты для базовой последовательности;  $W_{E[\frac{m-1}{N_e}]_{+1}}^{\beta}$  - весовые коэффициенты для внешней последовательности.

В данной работе были рассмотрены 3 способа весовой обработки:

1. Весовая обработка, описываемая функцией  $\sin$ .
2. Весовая обработка, описываемая функцией  $\sin^2$ .
3. Весовая обработка по квадратичному критерию [4].

Рассмотрен составной аperiodический многофазный сигнал, имеющий 324 импульса ( $N_e=N_{\sigma}=18$ ), при значениях коэффициентов  $\alpha'=-1/N_{\sigma}$ ,  $\beta'=1/N_{\sigma}^2$ . На основании полученных данных можно сделать вывод, что наибольшее подавление боковых лепестков во второй области, обеспечивает весовая обработка описываемая функцией  $\sin$ . При такой обработке сохраняется многопиковая структура взаимной функции неопределенности (ВФН), но имеет место уменьшение ЦП почти в 2,5 раза по сравнению с ФН сигнала до весовой обработки.

Для периодического многофазного сигнала с параметрами  $\alpha'=-1/N_{\sigma}$ ,  $\beta'=1/N_{\sigma}^2$  и  $N_e=N_{\sigma}=18$  был сделан вывод, что наименьший уровень боковых лепестков во второй области также обеспечивает весовая обработка описываемая функцией  $\sin$ . Она дает наименьшее уменьшение ЦП. При такой обработке его уровень уменьшается в 2,5 раза. Многопиковая структура ВФН сигнала после весовой обработки не изменилась. В третьей области наиболее эффективной является весовая обработка по квадратичному критерию.

Показано, что у многофазного сигнала при параметрах  $\alpha'=-1/N_{\sigma}$ ,  $\beta'=1/N_{\sigma}^2$  и  $N_e=N_{\sigma}=20$  наблюдаются такие же изменения в структуре, что и у сигнала при  $N_e=N_{\sigma}=18$ . При периодическом режиме работы произошло раздвоение ЦП в области отрицательных значений  $l$ , в области положительных значений - пики исчезли. После весовой обработки уровень боковых лепестков и ЦП уменьшился. Наименьший уровень боковых лепестков во второй области для аperiodического и периодического сигнала обеспечивает весовая обработка описываемая функцией  $\sin$ . ЦП уменьшается в 2,25 раза после ее применения. Многопиковая структура ВФН сигнала после весовой обработки не изменилась. В третьей области наиболее эффективной можно считать весовую обработку по

квадратичному критерию. По критерию потерь в отношении сигнал/шум наиболее эффективна весовая обработка, описываемая функцией *sin*.

Подводя итог данного исследования можно сделать вывод, что ФН периодический многофазный сигнал отличается структурой от ФН аperiodического. При периодическом режиме работы наблюдается раздвоение пиков тела неопределенности с центра координат в область отрицательных значений эквивалента частот  $l$ , а в области положительных значений - пики исчезают.

Выбор наиболее эффективного вида весовой обработки зависит от параметров составного многофазного периодического сигнала. Учитывая потери в отношении сигнал/шум мы отдаем предпочтение весовой обработке, описываемой функцией *sin*. Во второй области такая обработка не дает минимальный уровень боковых лепестков, но при этом отношение ЦП/максимальный боковой лепесток максимальное. Она уменьшает высоту ЦП в наименьшей степени при обработке. В третьей области наиболее эффективной можно считать весовую обработку по квадратичному критерию.

Таким образом, составной многофазный сигнал, в отличие от бифазного сигнала, позволяет получить не только низкую пиковую мощность и хорошие разрешающие свойства по дальности, но и по скорости наблюдаемых морских объектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кошевий В.М. Оптимізація фільтрів придушення бічних пелюстків взаємної функції невизначеності періодичних сигналів при додаткових обмеженнях. Судоводіння: Зб. Наук. Праць / ОНМА. – Вип. 20/ В.Кошевий, А. Шаповалова – Одеса: ВидавІнформ, 2011. – 264 с.
2. Кошевой В.М. Методы синтеза дискретно-кодированных сигналов на основе использования их спектральных свойств. Судоводіння: Зб. Наук. Праць / ОНМА. – Вип. 20. / В.Кошевой, Д.Долженко – Одеса: ВидавІнформ, 2011. –264 с.
3. Кошевой В.М. Синтез составных многофазных сигналов/ Виталий Михайлович Кошевой. – К.: Радиоэлектроника,1988.-№ 8.- 56-58 с.
4. Кошевой В.М., Кононов А. А. Синтез оптимальных одноканальных дискретных сигналов и фильтров/ Виталий Михайлович Кошевой. – К.: Радиоэлектроника,1984.-№ 8.- 62-65 с.



## ОПТИМИЗАЦИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ РАБОТЫ В ПЕРИОДИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

В.М.Кошевой, д.т.н., профессор

Е.Л.Пашенко, аспирант

Одесская национальная морская академия

В работе рассматриваются так называемые комбинированные сигналы. Все более актуальным является изучение такого класса сигналов, так как он обладает рядом полезных свойств, в отличие от импульсных, которые в наше время активно используются. Что и является основанием для дальнейших исследований комбинированных периодических многофазных сигналов.

Апериодические многофазные сигналы такого класса, рассмотренные в [1], были получены за счет перемножения двух последовательностей базовой и внешней, представляющих собой два сигнала. ФН комбинированного многофазного сигнала это произведение ФН каждого из этих сигналов. Для каждого из этих сигналов характерна гребнеобразная структура. При их перемножении ФН комбинированного многофазного сигнала будет представлять собой многопиковую структуру. Образованную перемножением ФН будем разделять на 3 зоны:

4Зона - Гребень на гребень.

5Зона - Гребень на отсутствие гребня.

6Зона - Отсутствие гребня на отсутствие гребня.

В работе были рассмотрены комбинированные многофазные сигналы с числом позиций  $N=324$  ( $N_6=18$ ,  $N_6=18$ ),  $N=400$  ( $N_6=20$ ,  $N_6=20$ ) при значениях коэффициентов  $\alpha'=-1/N_6$ ,  $\beta'=1/N_6^2$  в апериодическом и периодическом режимах работы. ФН сигнала расположена в области эквивалента частот  $l$  и эквивалента времени  $k$ .

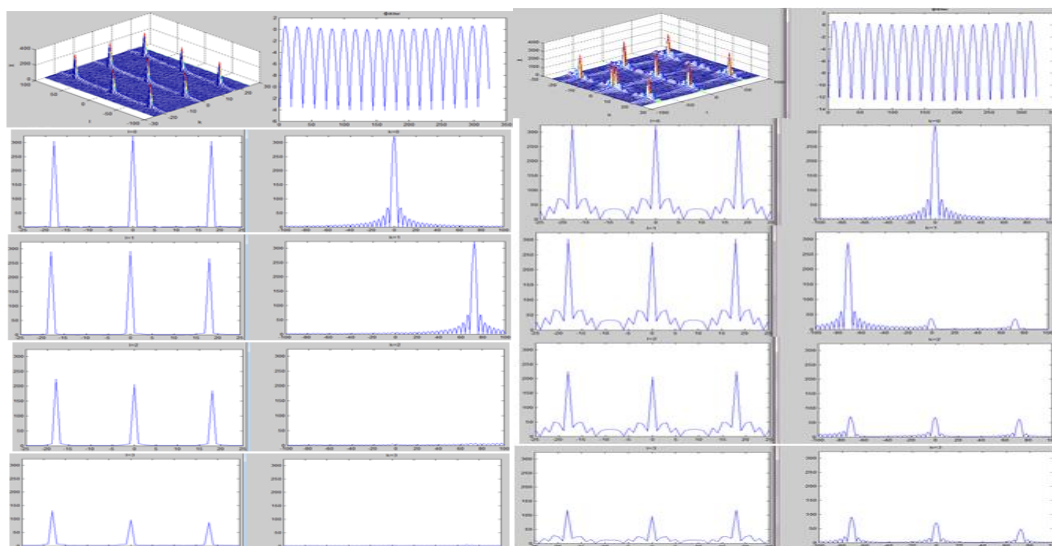


Рисунок 1 - Тело ФН для апериодического и периодического сигнала при коэффициентах  $\alpha' = -1/N_6$ ,  $\beta' = 1/N_6^2$ ,  $N_6 = N_6 = 18$  (область вокруг ЦП)

Для всех рассмотренных четырех вариантов тело ФН имеет ярко выраженный многопиковый характер. Однако в периодическом режиме работы наблюдается раздвоение пиков с центра координат в область отрицательных значений  $l$ . Вокруг ЦП образуется свободная зона. Чем больше импульсов в сигнале, тем больше площадь свободной зоны вокруг ЦП. Уменьшить уровень боковых лепестков в свободной области можно за счет использования весовой обработки базовой и внешней последовательностей.

С целью анализа, были рассмотрены 3 вида весовой обработки сигнала:

4. Весовая обработка, описываемая функцией  $\sin$ .
5. Весовая обработка, описываемая функцией  $\sin^2$ .
6. Весовая обработка по квадратичному критерию [2].

Рассмотрен комбинированный апериодический многофазный сигнал, имеющий 324 импульса ( $N_e=N_o=18$ ), при значениях коэффициентов  $\alpha'=-1/N_o$ ,  $\beta'=1/N_o^2$ . Можно сделать вывод, что во второй области наибольшее подавление боковых лепестков обеспечивает весовая обработка описываемая функцией  $\sin$ . Многопиковая структура взаимной функции неопределенности (ВФН) при такой обработке сохраняется, но имеет место уменьшение ЦП почти в 2,5 раза по сравнению с ФН сигнала до весовой обработки.

Весовая обработка, описываемая функцией  $\sin$ , обеспечивает наименьший уровень боковых лепестков во второй области для периодического многофазного сигнала с параметрами  $\alpha'=-1/N_o$ ,  $\beta'=1/N_o^2$  и  $N_e=N_o=18$ . При этом уменьшается ЦП в 2,5 раза. Многопиковая структура ВФН сигнала после весовой обработки сохранилась. Наиболее эффективной в третьей области является весовая обработка по квадратичному критерию.

Показано, что у многофазного сигнала при параметрах  $\alpha'=-1/N_o$ ,  $\beta'=1/N_o^2$  и  $N_e=N_o=20$  наблюдаются такие же изменения в структуре, что и у сигнала при  $N_e=N_o=18$ . При периодическом режиме работы произошло раздвоение ЦП в области отрицательных значений  $l$ , в области положительных значений - пики исчезают. Уровень боковых лепестков и ЦП после весовой обработки уменьшился. Для апериодического и периодического сигнала наименьший уровень боковых лепестков во второй области обеспечивает весовая обработка, описываемая функцией  $\sin$ . В 2,25 раза уменьшается уровень ЦП после ее применения. Многопиковая структура ВФН комбинированного сигнала после весовой обработки не изменилась. В третьей области наиболее приемлемой можно считать весовую обработку по квадратичному критерию. По критерию потерь в отношении сигнал/шум наиболее эффективна весовая обработка, описываемая функцией  $\sin$ .

Подводя итог данного исследования можно сделать вывод, что при периодическом режиме работы наблюдается раздвоение пиков тела неопределенности с центра координат в область отрицательных значений эквивалента частот  $l$ , а в области положительных значений - пики исчезают. При этом многопиковая структура ФН сохраняется.

Учитывая потери в отношении сигнал/шум мы отдаем предпочтение весовой обработке, описываемой функцией  $\sin$ . Во второй области такая обработка не дает минимальный уровень боковых лепестков, но при этом отношение

ЦП/максимальный боковой лепесток максимальное. При обработке она уменьшает высоту ЦП в наименьшей степени. Весовую обработку по квадратичному критерию наиболее эффективной можно считать в третьей области.

Таким образом, комбинированный многофазный сигнал позволяет получить низкую пиковую мощность излучения, что исключает ее вредное воздействие на здоровье членов. Также такие сигналы обеспечивают хорошие разрешающие способности не только по дальности, но и по скорости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кошевой В.М. Синтез составных многофазных сигналов/ Виталий Михайлович Кошевой. – К.: Радиоэлектроника, 1988.-№ 8.- 56-58 с.

2. Кошевой В.М., Кононов А. А. Синтез оптимальных одноканальных дискретных сигналов и фильтров/ В. М. Кошевой. – К.: Радиоэлектроника, 1984.-№ 8.- 62-65 с.

УДК 621.396

### РАСЧЁТ И РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО КИХ-ФИЛЬТРА

В.М.Кошевой, д.т.н., профессор

А.Н. Драгич, курсант

Одесская национальная морская академия

Радиосвязь относится к ряду таких областей техники, в которой погрешность может повлиять на условия безопасности и стать причиной возникновения угрозы бедствия. В условиях наличия множества каналов радиосвязи в разных частотных диапазонах в наши дни, вопрос фильтрации и приёма неискажённых сигналов, их восстановления с наименьшей погрешностью поставлен остро.

В зависимости от вида импульсной характеристики фильтра он может быть реализован в одном из двух видов: рекурсивный(БИХ-фильтр) и нерекурсивный(КИХ-фильтр). Выбор проектирования именно КИХ-фильтра обусловлен тем, что одно из важнейших преимуществ КИХ-фильтров перед БИХ-фильтрами - это синтез и практическая реализация с чисто вещественными частотными откликами. Такие фильтры называются фильтрами с нулевой фазой. В силу вещественности его частотного отклика упрощается синтез фильтра.

Рассмотрим особенности расчёта КИХ-фильтра, используя программное обеспечение Matlab, пакет Signal Processing(среда FDATool). Для расчёта необходимого нам фильтра зададимся следующими необходимыми данными: частота дискретизации  $F_s$ , порядок фильтра  $n$ , граница полосы пропускания  $f_p$ , граница полосы подавления  $f_s$ , неравномерность АЧХ в полосе пропускания  $R_1$ , минимальное затухание в полосе подавления  $R_2$  [1]. Исходные данные для проектирования приведены в табл.1. Используемый метод синтеза АЧХ – с применением окна Блэкмена.

Таблица 1 – Исходные данные для проектирования КИХ-фильтра нижних частот

Параметры фильтра	Значение
Тип фильтра	ФНЧ
Порядок фильтра	99
Частота дискретизации, Гц	40000
Неравномерность АЧХ в полосе пропускания, дБ	1
Минимальное затухание в полосе подавления, дБ	80
Ширина полосы пропускания, Гц	3500
Частота среза, $F_c$ , Гц	10000
Тип окна	Blackman

После введения параметров в среде программирования фильтров осуществляем расчёт фильтра.

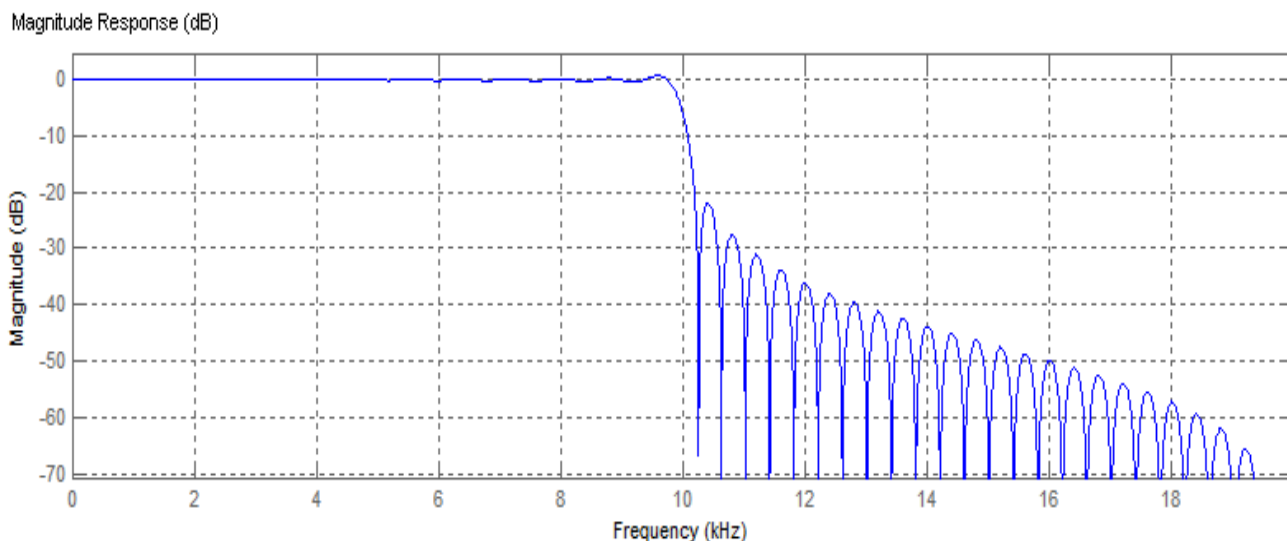


Рисунок 1 – АЧХ проектируемого КИХ-фильтра в среде FDATool

Используя кнопку Realize Model, импортируем спроектированный фильтр в среду Simulink[2].

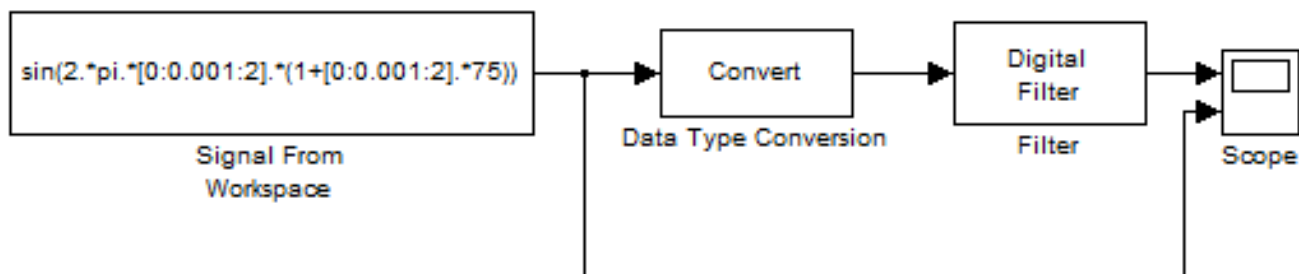


Рисунок 2 – Модель КИХ-фильтра в среде Simulink

Добавим для полноты схемы эксперимента синусоидальный сигнал изменяющейся частоты и осциллограф с двумя входами.

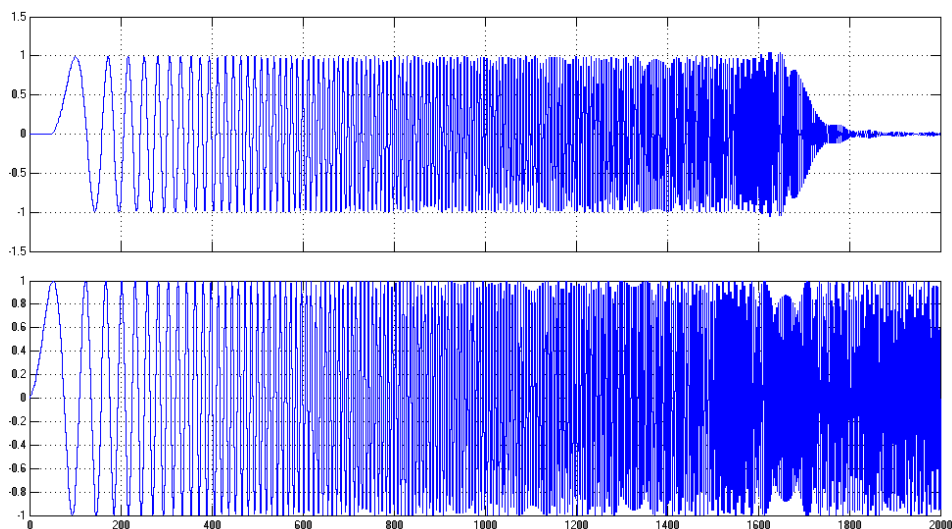


Рисунок 3 – Фильтрованный и нефильтованный сигналы на выходе осциллографа

Последующим шагом при реализации КИХ-фильтра может быть разработка с использованием импульсных микропроцессоров и соответствующей программной среды[3]. В состав фильтра войдут: плата микроконтроллера; плата ввода аналогового сигнала; плата вывода аналогового сигнала; персональный компьютер.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <<http://analogiu.ru/6/6-5-2.html>> Основные характеристики и параметры фильтров.
2. Солонина А.И. Арбузов С.М. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB: учебное пособие. П.:БХВ-Петербург – 2008 г.
3. Айфичер Э. Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. 2-е издание. :Пер. с англ.. – М.: Издательский дом «Вильямс» – 2004 г.

УДК 621.396.962.2

### МОРСКИЕ РЛС НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

А.В Шишкин, к.т.н., доцент

И.И. Котляр, курсант

Одесская национальная морская академия

Сложные сигналы широко используются в радиолокации для увеличения дальности действия и разрешения по дальности РЛС. Наибольшее распространение в РЛС получили сложные сигналы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Общая схема широкополосного радара имеет вид:

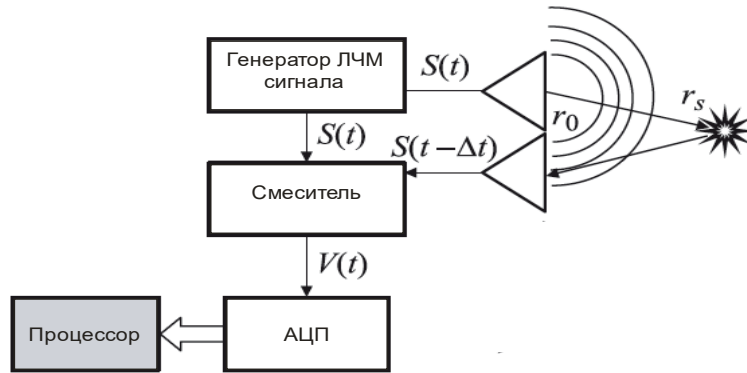


Рисунок 1 – Схема широкополосного радара

Сущность рассматриваемого алгоритма в следующем. На несущей частоте в заданном направлении в узком угловом секторе излучается сложный непрерывный радиосигнал  $S(t)$  с периодическим пилообразным законом изменения частоты. Одновременно с излучением зондирующего сигнала принимается сигнал, отраженный от объекта. Отраженный сигнал поступает на смеситель. На выходе смесителя в результате перемножения излученного и принимаемого сигнала формируется сигнал «биений»  $V(t)$ . В соответствии с формулой:

$$\cos(2\pi f_1) * \cos(2\pi f_2) = \frac{1}{2} \cos(2\pi(f_1 - f_2)) + \frac{1}{2} \cos(2\pi(f_1 + f_2)) .$$

Составляющая с разностной частотой является полезной, при этом частота биений пропорциональна расстоянию до объекта. Для того, чтобы получить спектр сигнала необходимо выполнить преобразование Фурье.

Целью работы является моделирование процессов обработки ЛЧМ сигнала в РЛС с использованием математического пакета MATLAB.

На рис.2 представлены сигналограммы простого и ЛЧМ сигнала до и после согласованной обработки:

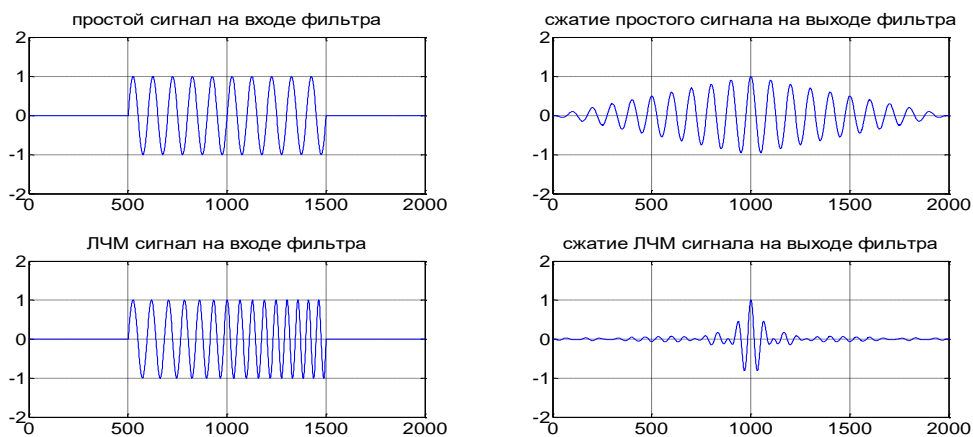


Рисунок 2 – Сжатие простого и ЛЧМ сигнала

Результаты моделирования преобразования Фурье представлены на рис.3 для двух перекрывающихся эхо-сигналов.

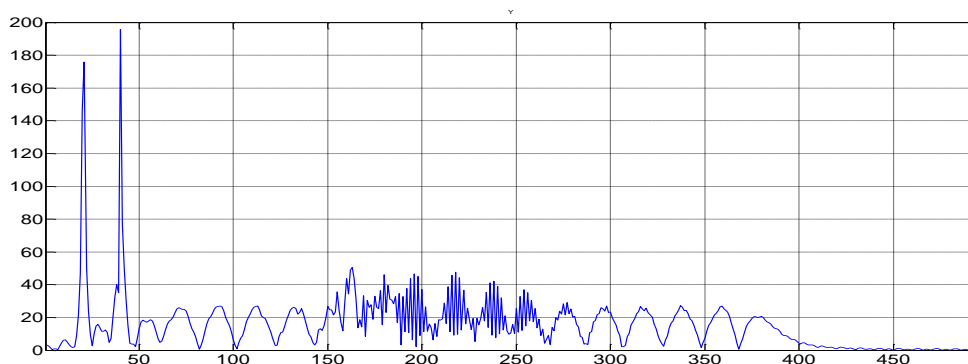


Рисунок 3 – ЛЧМ сигнал на выходе радара

Применение ЛЧМ сигналов, в современных РЛС непрерывного действия, позволяет получить следующие преимущества в сравнении с импульсными радарами:

- высокое разрешение РЛС по дальности за счет возможности расширения спектра излученного сигнала без больших затрат;
- низкое энергопотребление;
- обнаружение в ближней зоне;
- мгновенная готовность к работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Chen Baixiao , Synthetic Impulse and Aperture Radar (SIAR): A Novel Multi-Frequency MIMO Radar// John Wiley & Sons. – 2014
2. Никитин Н.П. Прием и обработка сложных сигналов: учебное пособие. /Н.П.Никитин, В.И. Лузин, Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. –193с.

УДК 621.391.83

## ОПТИМАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ТРОИЧНЫХ КОДОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ РАДИОЛОКАЦИИ И СВЯЗИ

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор

Т.А. Дзюбюк, курсант

Одесская национальная морская академия

Целью работы является оптимальная обработка троичных кодовых последовательностей для задач радиолокации и связи.

Используем троичный алфавит  $\{-1,0,1\}$ , который с практической точки зрения означает комбинирование бинарной ФМ с паузами, т.е. интервалами времени, в течение которых отсутствует передача символов. Следовательно, целевой функцией синтеза является построение троичных последовательностей, обладающих не только идеальной периодической АКФ, но и малым числом нулей на периоде, незначительно превышающим единицу.

Для троичных кодовых последовательностей проведены исследование периодической и аперриодической функции неопределенности, а также функции корреляции. Результаты приведены на графиках ниже.

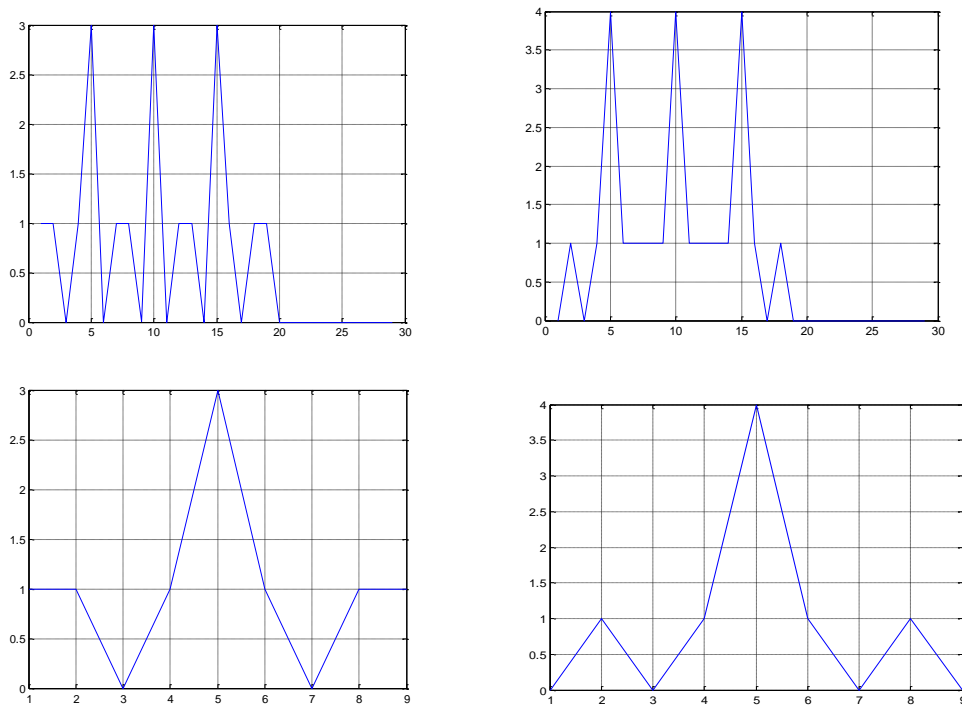


Рисунок 1 – Сигналы на выходе согласованной периодической и аперриодической обработки.  $N=5$ ;  $s[1\ 0\ 0\ -1\ -1]$ ;  $w[1\ 0\ 0\ -1\ -1]$ ;  $s[1\ -1\ -1\ -1\ 0]$ ;  $w[1\ -1\ -1\ -1\ 1]$

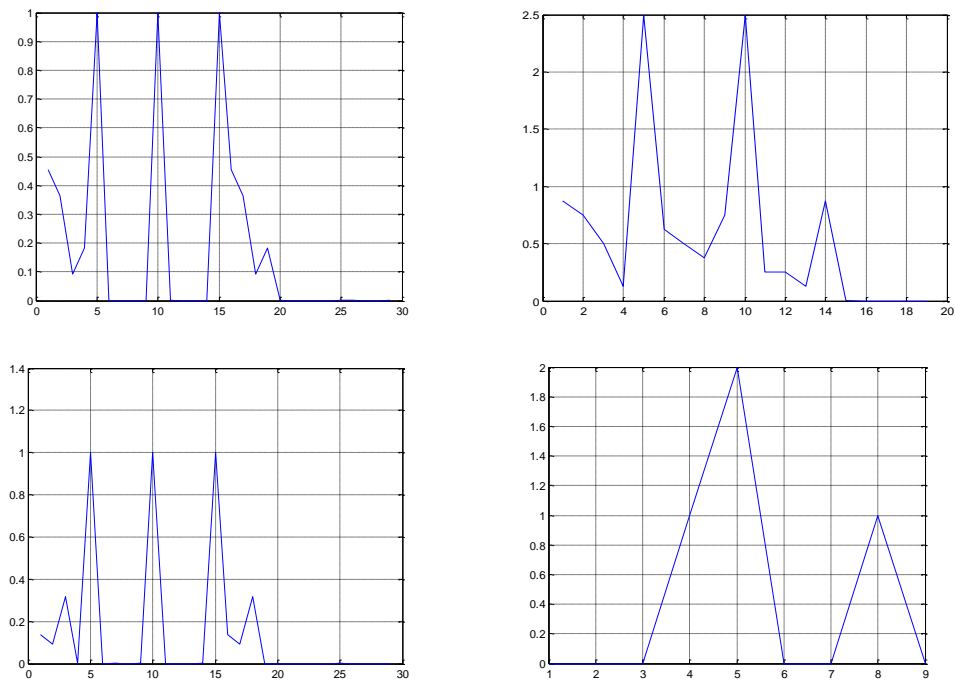


Рисунок 2 – Сигнал на выходе рассогласованной периодической и аперриодической обработки.  $N=5$ ;  $s[1\ 0\ 0\ -1\ -1]$ ;  $s[1\ -1\ -1\ -1\ 0]$



При фильтрацией уровень боковых лепестков равен 0. Но при этом появляются потери, отношения сигнал/шум и отношения сигнал/помеха

В таблице 1 представлены результаты полное подавления боковых лепестков с меньшими потерями в отношении сигнал/шум, по сравнению с троичной последовательностью.

Таблица 1

N=5	$\sigma_{ss}$	$\sigma_{sw}$	$\rho_{ss}$	$\rho_{sw}$
[1 0 0 -1 -1]	0.81	1	1	0.73
[1 0 0 -1 -1]	0.75	2.5	1	0.71
[1 -1 -1 -1 0]	0.8	1	1	0.73
[1 -1 -1 -1 0]	0.9	2	1	0.5

## ЛИТЕРАТУРА

1.Л. Е. Варакин. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.

2.В. П. Ипатов. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения – В.: Техносфера, 2007. – 488 с.

УДК 621. 391.83

## ОПТИМАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ НЕПРЕРЫВНЫХ РЛС, ПОЗВОЛЯЮЩАЯ РАБОТАТЬ С РЛО

В. М. Кошевой, д.т.н., профессор

Н. В. Войтова, курсант

Одесская национальная морская академия

Существующие морские радиолокационные станции (РЛС) относятся к импульсному типу и обладают недостатком, связанным с повышенной мощностью излучения, что негативно отражается на здоровье членов экипажа судна и состоянии окружающей среды. Существуют разработки морских РЛС с непрерывным излучением, позволяющие существенным образом снизить пиковую мощность излучения и тем самым улучшить условия работы моряков и повысить экологическую безопасность.

Важный момент обеспечения безопасности мореплавания – обеспечение функционирования существующих радиолокационных ответчиков (РЛО). Возникающая проблема связана с тем, что РЛО не имеют фильтра сжатия и рассчитаны на импульсные сигналы [1].

В связи с этим возникает задача поиска таких непрерывных сигналов, которые смогут обеспечить возможность совместного функционирования РЛС и РЛО с учетом сохранения возможности обеспечения стандартных режимов работы станции. Важным требованием для сигналов непрерывных РЛС является обеспечение как можно меньшего уровня боковых лепестков (БЛ) периодической автокорреляционной функции (ПАКФ) [1], что связано с обеспечением помехозащищенности сигналов и увеличением необходимой точности измерения координат.

Для радиолокационных приложений наибольший интерес представляет случай, когда все боковые лепестки периодической автокорреляционной функции (ПАКФ) равны нулю [2]. В этом случае при  $N=3$ ,  $a = -\left(\frac{N-2}{2}\right)$ ,  $b = 1$  сигнал обеспечивает нулевые боковые лепестки автокорреляционной функции в периодическом режиме.

Для примера были рассчитаны сигналы на выходе согласованной периодической обработки  $N=5$   $s[-1,5 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$ ;  $N=7$   $s[-2,5 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$ . Боковые лепестки равны 0.

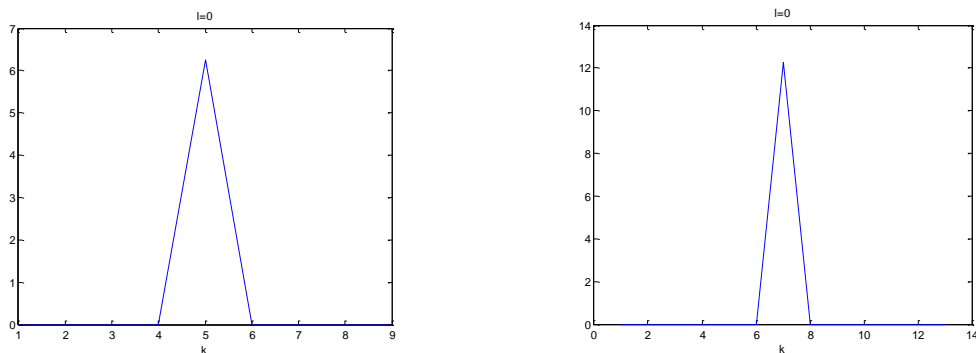


Рисунок 1 – Графики согласованной обработки сигнала в среде MATLAB

При рассогласованной обработке  $N=5$   $s[-1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$ ,  $w[-1,3333 \ 0,1667 \ 0,1667 \ 0,1667 \ 0,1667]$ ;  $N=7$   $s[-1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$ ,  $w[-0,4 \ 0,1 \ 0,1 \ 0,1 \ 0,1 \ 0,1 \ 0,1]$ .

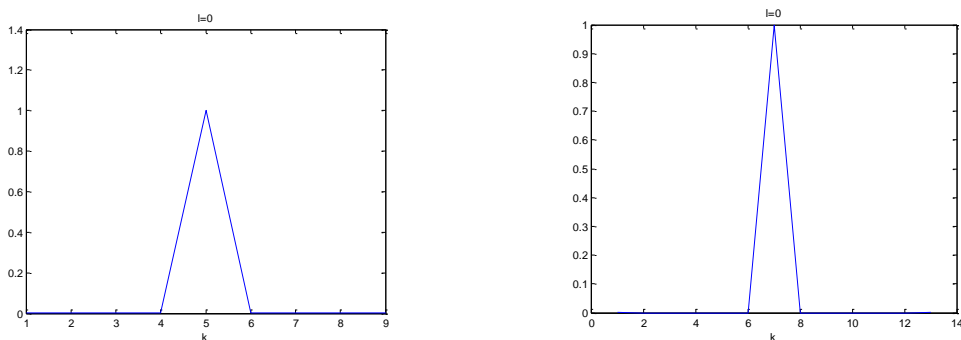


Рисунок 2 – Графики рассогласованной обработки сигнала в среде MATLAB

## ЛИТЕРАТУРА

1. Выбор сигналов, обеспечивающих возможность работы непрерывных РЛС совместно с существующими РЛО // Судовождение. –2012. - № 21. Одесса: ОНМА. – С. 109 – 116.
2. Кошевой В. М., Долженко Д. О. Методы синтеза дискретно-кодированных сигналов на основе использования их спектральных свойств//ОНМА:Судовождение, 2011. – 109-116 с.

## РАСЧЕТ СИГНАЛОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ПРИ ОТСУТСТВИИ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ

В. М. Кошевой, д.т.н., профессор  
 М. О. Райнова, курсант  
 Одесская национальная морская академия

С помощью метода совместной оптимизации сигнала и фильтра с учетом дополнительных ограничений на постоянную разрешения по времени синтезируем пару «сигнал-фильтр» [1]. Задача оптимизации рассмотрена для класса дискретных сигналов и фильтров :

$$S(t) = \sum_{n=1}^N S_n p(t - nt_0), \quad W(t) = \sum_{m=1}^M W_m p(t - mq_\phi T_0) \quad (1)$$

На каждом шаге отыскания сигнала для фильтра оптимизации подлежат только фазы сигнала, которые выбираются таким образом, чтобы обеспечить неубывающий характер последовательности значений  $\Sigma$ . Отношение  $\Sigma$  для сигнала и фильтра (1) можно записать [2]:

$$\Sigma = \frac{|W^* S|^2}{W^* R W} \quad (2)$$

На первом шаге выбирается произвольный начальный вектор фаз сигнала  $\Phi^{(0)} = \{\varphi_1^0, \varphi_2^0, \dots, \varphi_N^0\}$ . Этот вектор фаз приписывается заданным амплитудам, и для полученного сигнала находится вектор фильтра, максимизирующий (2). Полученный таким образом вектор фильтра подставляем в (2) и получаем:

$$W^{(0)} = [vI + \sigma_0 D_{\theta_\xi}^{(0)}]^{-1} S^{(0)}, \quad \Sigma(W^{(0)}, S^{(0)}) = \Sigma_0(S^{(0)}) \quad (3)$$

Далее выбираем новый вектор фаз сигнала по формуле

$$\Phi^{(1)} = \Phi^{(0)} + \lambda_0 \text{grad} \Sigma_0(\Phi^{(0)}) \quad (4)$$

$$\text{grad} \Sigma_0(\Phi^{(0)}) = \frac{\partial \Sigma_0(\Phi)}{\partial \varphi_1}, \frac{\partial \Sigma_0(\Phi)}{\partial \varphi_2}, \dots, \frac{\partial \Sigma_0(\Phi)}{\partial \varphi_{N\Phi=\Phi^{(0)}}} \quad (5)$$

Постоянную  $\lambda_0$  выбираем таким образом, чтобы  $\Sigma_0(\Phi^{(1)}) \geq \Sigma_0(\Phi^{(0)})$ . Полученный вектор фаз  $\Phi^{(1)}$  вновь приписываем заданным амплитудам сигнала и на следующем шаге для полученного сигнала находим новый вектор фильтр

$$W^{(1)} = [vI + \sigma_0 D_{\theta_\xi}^{(1)}]^{-1} S^{(1)}, \quad \Sigma(W^{(1)}, S^{(1)}) = \Sigma_1(S^{(1)}) \quad (6)$$

Поступая дальше аналогичным образом, получаем неубывающую последовательность значений  $\Sigma_0 \leq \Sigma_1 \leq \Sigma_2 \dots$ . Если получаемое значение  $\Sigma_i(\Phi^{(i+1)}) < \Sigma_1(\Phi^{(i)})$ , то значение  $\lambda_i$  делится пополам и этот процесс продолжается до выполнения условия  $\Sigma_i(\Phi^{(i+1)}) \geq \Sigma_1(\Phi^{(i)})$ . Представим результаты расчетов в таблице (см. табл.1).

Таблица 1 – Результаты расчетов

Сигнал, $S$ $N_0=5,$ $\Delta\varphi=15^\circ$	Фильтр, $W$	$\Sigma_0(\Phi^{(0)})$	$grad \Sigma_0(\Phi^{(0)})$	Сигнал, $S$ $N_0=5, \Delta\varphi=15^\circ$	$\Sigma_0(\Phi^{(1)})$
$[1 e^{i\pi} e^{i\pi}]$	0.093 -0.13 -0.13	0.3516	-0.0026	$[1 e^{i179.85^\circ} e^{i179.85^\circ}]$	0.3518
$[1 e^{i\pi+\Delta\varphi} e^{i\pi}]$		0.3464			
$[1 e^{i\pi} e^{i\pi+\Delta\varphi}]$		0.3464			

Исходя из результатов полученных выше, можно сделать вывод, что за счет использования оптимизации по фазам произошло увеличение отношения  $\Sigma$ , при этом удалось сохранить неизменную амплитуду сигнала, что значительно упрощает практическую реализацию. Также была разработана программа, позволяющая оптимизировать не только фильтр, но и сигнал.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Долгочуб, В. Т., Свердлик, М. Б. Радиотехника и электроника. – М, 1976. – Т. 15.
2. Кошевой, В. М. Синтез пары «сигнал – фильтр» при дополнительных ограничениях / В. М. Кошевой, М. Б. Свердлик // Радиотехника и электроника. – М, 1976. – Т. 21.

УДК 621.391.83

## РАСЧЕТ СИГНАЛОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ С ВОЗМОЖНОЙ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ СИГНАЛА

В. М. Кошевой, д.т.н., профессор  
Л. Н. Сукач, курсант  
Одесская национальная морская академия

Существующие морские радиолокационные станции (РЛС) относятся к импульсному типу и обладают недостатком, связанным с повышенной мощностью излучения, что негативно отражается на здоровье членов экипажа судна и состоянии окружающей среды.

РЛС, использующие непрерывные, одинаковой амплитуды (равномерные) сигналы могут функционировать при малой мощности излучения, которая достигается применением оптимальных методов приема сигнала и его обработки.

Для обозначения проблемы рационального выбора алгоритмов формирования, а также временной и пространственной обработки сигналов применяется термин синтез пары «сигнал-фильтр».

С помощью метода совместной оптимизации сигнала и фильтра с учетом дополнительных ограничений на постоянную разрешения по времени, величину отношения сигнал/шум синтезируем пару «сигнал-фильтр». Все задачи оптимизации рассмотрены для класса дискретных сигналов и фильтров соответственно с комплексными огибающими:

$$S(t) = \sum_{n=1}^N S_n p(t - nt_0), \quad (1)$$

$$W(t) = \sum_{m=1}^M W_m p(t - nq_\phi T_0), \quad (2)$$

где

$$p(t - mZ) = \begin{cases} 1, & (m - 1)Z \leq t < mZ, \\ 0, & \text{при других } t; \end{cases}$$

$S_n = |S_n|e^{i\varphi_n}$ ,  $W_m = |W_m|e^{i\psi_m}$  – комплексные весовые коэффициенты сигнала и фильтра.

Численный метод решения задачи определения фильтра при заданном сигнале заключается в получении семейства решений линейного интегрального уравнения представлено в [1].

Задача совместного определения сигнала и фильтра приводит к системе интегральных уравнений [1], для решения которых используется итерационный метод. На первом этапе отыскиваем фильтр для заданного сигнала, с известным шумом. Поскольку присутствует амплитудная модуляция, которая изменяется, проводим нормировку и получаем новый фильтр. Данная обработка смеси сигнала и шума является согласованной, что позволяет обеспечить максимизацию отношения сигнал/(помеха + шум).

Потери в отношении сигнал/шум рассчитываем по формуле:

$$\rho = \frac{(W^* S)^2}{W^* W \cdot S^* S}, \quad (3)$$

где  $S$ ,  $W$  – комплексные амплитуды сигнала и фильтра соответственно.

Соотношения сигнал/помеха рассчитываем, используя следующее выражение:

$$\sigma = \frac{|W^* S|^2}{W^* R W}. \quad (4)$$

В таблице 1, представлены результаты, полученные для  $N=3$ , при шуме  $N_0 = 1$ .

Таблица 1 – Результаты расчетов

	Оптимизированный сигнал													
	итера- ция 1		итера- ция 2		итера- ция 3		итера- ция 4		итера- ция 5		итера- ция 6		итера- ция 7	
	$\rho$	$\sigma$	$\rho$	$\sigma$	$\rho$	$\sigma$	$\rho$	$\sigma$	$\rho$	$\sigma$	$\rho$	$\sigma$	$\rho$	$\sigma$
$N=3$	0,8597	0,7	0,9741	0,7436	0,9936	0,7484	0,9984	0,7495	0,9996	0,7499	0,9999	0,75	1	0,75

Таким образом, за счет расчета более сложного сигнала с использованием амплитудной модуляции, можно исключить потери в отношении сигнал/шум.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Кошевой, М. Б. Свердлик, Радиотехника и электроника, 1976, №6.
2. В. П. Ипатов. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения – В.: Техносфера, 2007. – 488 с.

УДК: 621.396.969/629.052.3

### ОПТИМИЗАЦИЯ ФИЛЬТРОВ ПОДАВЛЕНИЯ БОКОВЫХ ЛЕПЕСТКОВ ВЗАИМНОЙ ФУНКЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ДЛЯ СИНГУЛЯРНЫХ СЛУЧАЕВ

В. М. Кошевой, д.т.н., профессор  
Н.Е. Ортина, аспирант  
Одесская национальная морская академия

В настоящее время вопрос о негативном воздействии излучения судовых радиотехнических средств является исключительно актуальным.

К одному из таких средств относится морская радиолокационная станция (РЛС), которая воздействует как на работу других радиотехнических средств установленных на судне, так и на плавсостав, который её эксплуатирует и обслуживает.

Основным источником электромагнитного сигнала высокой мощности является передающее устройство РЛС, которая работает в импульсном режиме.

Современные цифровые методы формирования и обработки сигналов, позволяют разработать навигационные средства нового поколения, которые за счет резкого снижения пиковой мощности излучения передающего устройства

РЛС обеспечивают более безопасные условия труда для экипажа, находящегося на судне.

Одним из таких методов является обработка сложных сигналов [1, 2], путем выбора определенного типа фильтра [3], позволяющего достичь полного подавления боковых лепестков взаимной функции неопределенности [4, 5, 6].

Для достижения поставленной задачи необходимо отказаться от согласованной фильтрации, в пользу обработки, несогласованной, которая позволяет подавить боковые лепестки на всем периоде сигнала.

Таким образом, в данной статье, в качестве основной, рассматривается задача расширения возможностей расчета фильтра для сингулярных случаев, т.е. для случаев, когда некоторые элементы дискретного преобразования Фурье (ДПФ) равны нулю. Следовательно, подход, рассмотренный в [3] применить нельзя.

Для иллюстрации возможности предложенного подхода рассматривается сигнал  $S_n = [1; 1; -1; -1]$  для периода  $N=4$ . Для такого сигнала, подход рассмотренный в [3] не применим.

В приведенном анализе ограничимся только бинарным  $\{\pm 1\}$  алфавитом. Соответственно, положим, что коэффициенты фильтра  $W_n$ ,  $n = 0, 1, \dots, N-1$  являются вещественными.

При подаче на вход фильтра последовательности  $S_n = [1; 1; -1; -1]$ , отклик фильтра описывается последовательностью  $R_k$ ,  $k=0,1,2,3$  элементы которой находятся операцией свертки

$$R_k = \sum_{n=0}^{N-1} W_n * S_{n+k}. \quad (1)$$

Получается что,  $N$  элементы  $R_0, R_1, \dots, R_{N-1}$  полностью определяют выходную последовательность, и  $R_k$  становится циклической сверткой

$$R_k = \sum_{n=0}^{N-1} \omega_n * S_{n+k}, \quad n=0,1, \dots, N, \quad (2)$$

где вычитание в индексе осуществляется по модулю  $N$ .

Предъявим к фильтру следующие требования

$$R_{k_0} \neq 0, \quad R_k = 0, \quad k = 1, 2, \dots, N-1,$$

физический смысл, которого состоит в том, что выходной сигнал фильтра имеет ненулевой основной лепесток, тогда как все боковые лепестки между ними равны нулю. Подобный фильтр, называемый в дальнейшем фильтром подавления боковых лепестков (ФПБЛ), имитирует своим откликом идеальную периодическую АКФ. Поскольку для бинарных кодов идеальная АКФ не достижима (за исключением единственного тривиального сигнала), то ФПБЛ является несогласованным и, следовательно, уступает согласованному фильтру в отношении сигнал/шум.

Кратчайшим путем получения точного выражения для коэффициентов фильтра служит применение дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Последовательность  $S_n$  и ее компоненты ДПФ спектра  $S(l)$ ,  $l=0,1,\dots,N-1$  связаны друг с другом прямым и обратным ДПФ:

$$S(l) = \sum_{k=0}^{N-1} S_n \exp\left(-i \frac{2\pi kl}{N}\right), \quad S_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} S(l) \exp\left(i \frac{2\pi kl}{N}\right), \quad k, l = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3)$$

Нашей целью является достижение дискретной дельта – функции на выходе фильтра, имеющей только один ненулевой элемент на периоде. Спектр подобной функции является равномерным. Тогда вследствие теоремы о свертке спектр последовательности коэффициентов фильтра есть ничто - иное, как передаточная функция ФПБЛ:

$$G(l) = \sum_{k=0}^{N-1} R(k) \exp\left(-i2\pi \frac{kl}{N}\right), \quad (4)$$

По формуле (4) был проведен расчет для N=4, результаты которого представлены ниже:

$$G(0) = R_0 + \sum_{k=1}^{N-1} R(k); \quad (5)$$

$$G(1) = R_0 + \sum_{k=1}^{N-1} R(k) \exp\left(-i2\pi \frac{k}{N}\right) \quad (6)$$

$$G(2) = R_0 + \sum_{k=1}^{N-1} R(k) \exp\left(-i2\pi \frac{2k}{N}\right), \quad (7)$$

$$G(3) = R_0 + \sum_{k=1}^{N-1} R(k) \exp\left(-i2\pi \frac{3k}{N}\right), \quad (8)$$

Решение данной задачи не представляется возможным в случае, когда компоненты ДПФ спектра  $S(l)$  по результатам расчетов равны нулю. Поэтому решить задачу, для таких сингулярных случаев, можно используя предложенный ниже метод, который заключается в добавлении коэффициента  $N_0$  ко всем элементам ДПФ спектра. Тогда передаточная функция ФПБЛ при наличии шума будет иметь вид:

$$G''(0) = R_0 + N_0 + \sum_{k=1}^{N-1} R(k); \quad (9)$$

$$G''(1) = R_0 + N_0 + \sum_{k=1}^{N-1} R(k) \exp\left(-i2\pi \frac{k}{N}\right) \quad (10)$$

$$G''(2) = R_0 + N_0 + \sum_{k=1}^{N-1} R(k) \exp\left(-i2\pi \frac{2k}{N}\right), \quad (11)$$

$$G''(3) = R_0 + N_0 + \sum_{k=1}^{N-1} R(k) \exp\left(-i2\pi \frac{3k}{N}\right), \quad (12)$$

Рассчитав по формуле (2) коэффициенты разложения корреляционной функции получим значения  $R(0) = 4; R(1) = 0; R(2) = -4; R(3) = 0$ , далее подставляя их в выражения (13), (14), (15), (16):

$$G''(0) = R_0 + N_0 + R(2) = N_0; \quad (13)$$

$$G''(1) = 4 + N_0 - 4 \exp(-i\pi); \quad (14)$$



$$G''(2) = 4 + N_0 - 4 \exp(-i2\pi); \quad (15)$$

$$G''(3) = 4 + N_0 - 4 \exp(-i3\pi); \quad (16)$$

Таким образом, значения передаточной функции ФПБЛ равны:

$$G''(0) = N_0; G''(1) = 8 + N_0; G''(2) = N_0; G''(3) = 8 + N_0.$$

Применение обратного преобразования Фурье и дает точное выражение для вычисления весовых коэффициентов ФПБЛ:

$$W_n = \sum_{l=0}^{N-1} \frac{1}{G(l)} \exp\left(i \frac{2\pi ml}{N}\right) = \frac{1}{N_0} \times 1 + \frac{1}{8 + N_0} \exp\left(i2\pi \frac{n}{4}\right) + \frac{1}{N_0} \exp\left(i2\pi \frac{2n}{4}\right) + \frac{1}{8 + N_0} \exp\left(i2\pi \frac{3n}{4}\right) = \quad (1)$$

$$= \frac{1}{N_0(8 + N_0)} \left( (8 + N_0) + N_0 \exp\left(i\pi \frac{n}{2}\right) + (8 + N_0) + N_0 \exp(i\pi n) + N_0 \exp\left(i\pi \frac{3n}{2}\right) \right); \quad (7)$$

$$W_n = \frac{1}{N_0(8 + N_0)} \left[ (8 + N_0)(1 + \exp(i\pi n)) + N_0 \exp\left(i\pi \frac{n}{2}\right)(1 + (i\pi n)) \right]; \quad (18)$$

$$W_n'' = \left[ (1 + \exp(i\pi n)) \left( 8 + N_0 N_0 \exp\left(i\pi \frac{n}{2}\right) \right) \right] \frac{1}{N_0(8 + N_0)}; \quad (19)$$

$$W_0 = \frac{2(8 + 2N_0)}{N_0(8 + N_0)}; W_1 = 0; W_2 = \frac{2 \times 8}{N_0(8 + N_0)}; W_3 = 0.$$

Результирующий фильтр вычисляется по формуле:

$$W_p(k) = \sum_{n=0}^{N-1} W_n S_{n+k} \quad (20)$$

Следовательно,

$$W_p(0) = \sum_{n=0}^3 W_n S_n = \frac{4N_0}{N_0(N_0 + 8)} = \frac{4}{N_0 + 8} \sim 1; \quad (21)$$

$$W_p(1) = \sum_{n=0}^3 W_n S_{n+1} = \frac{4}{N_0 + 8} \sim 1; \quad (22)$$

$$W_p(2) = \sum_{n=0}^3 W_n S_{n+2} = -\frac{4}{N_0 + 8} \sim -1; \quad (23)$$

$$W_p(3) = \sum_{n=0}^3 W_n S_{n+3} = -\frac{4}{N_0 + 8} \sim -1. \quad (24)$$

Следует отметить, что для рассматриваемого сигнала при подавлении всех боковых лепестков периодической функции корреляции, независимо от величины  $N_0$ , фильтр является согласованным.

А вот обратный фильтр  $W_n$  (режекторный), в отличие от результирующего  $W_p$  зависит непосредственно от величины  $N_0$ .

Подводя итог, отмечу, что, в конечном счёте, для расширения функциональных задач в современной радиолокации, предложен способ оптимальной пространственно-временной обработки сигналов для подавления боковых лепестков взаимной функции неопределенности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов./ Л.Е. Варакин – М., издательство «Советское радио», 1970. – 376 с.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов/ А.Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.: ил.
3. Ипатов В.П. Полное подавление боковых лепестков периодических корреляционных функций фазоманипулированных сигналов/ В.П. Ипатов – «Радиотехника и электроника», 1977,22, №8. –.1600с.
4. Ипатов В.П. Бинарные периодические последовательности с малыми потерями на подавление боковых лепестков/ В.П. Ипатов – «Изд. вузов – Радиоэлектроника », 1980, 23, №1, с.20.
5. Кошевой В.М. О возможностях полного подавления боковых лепестков взаимной функции неопределённости в заданной области/ Кошевой В.М., Свердлик М.Б. – «Радиотехника и электроника», 1974, 19, №9, стр. 1839.
6. В.М. Кошевой, М.Б. Свердлик Синтез пары «сигнал-фильтр» при дополнительных ограничениях. – «Радиотехника и электроника», 1976, 21, №6, стр. 1227.

УДК 621.391.83

## СОВМЕСТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИГНАЛА И ФИЛЬТРА ПО КВАДРАТИЧНОМУ КРИТЕРИЮ

В.М. Кошевой, д.т.н. профессор

В.С. Попова, аспирант

Одесская национальная морская академия

Радиолокационные средства обеспечивают безопасность мореплавания, а так же позволяют решать разнообразные задачи возлагаемые на суда и различные морские объекты. Морские условия и размещение РЛС на судне существенно влияют и на работу радиолокационной аппаратуры. Переотражения от надстроек приводят к увеличению боковых лепестков диаграммы направленности антенны РЛС, к появлению секторов затенения, к расщеплению главного лепестка диаграммы. Чтобы уменьшить влияние этих факторов, приходится брать определенный запас по уровню боковых лепестков, что увеличивает габаритные размеры и усложняет технологию производства аппаратуры. Необходимо выбирать место расположения антенны на судне, используя экспериментальные проверки на моделях. Задачи связанные с оптимизацией фильтра применяются также в средствах связи[1].

Эффективность обнаружения полезного сигнала на фоне мешающих отражений состоит из двух частей:

$$x(t) = As(t)e^{i\varphi} + N(t) \quad (1)$$

$$R(t_1, t_2) = N_o \delta(t_1 - t_2) + \int \int_{-\infty}^{+\infty} \sigma(\tau, f) s(t_1 - \tau) s^*(t_2 - \tau) e^{i2\pi f(t_1 - t_2)} d\tau df \quad (2)$$

Оптимальный сигнал можно получить, если провести максимизацию основного критерия качества. Задача оптимизации сигнала при оптимальной обработке  $W = D^{-1} \cdot S$  сводится к задаче максимизации функции  $S \cdot D^{-1} \cdot S$ , которая в свою очередь совпадает с отношением сигнал / помеха на выходе оптимального фильтра [2]. Отношение сигнал / (помеха + шум) на выходе фильтра в общем случае записано в виде матричного выражения:

$$\Sigma = \frac{|W * S|^2}{N_0 W * W + W * R_S W} \quad (3)$$

Решение задачи максимизации относительно векторов в оперативной форме имеет вид:

$$\begin{aligned} S &= R_S \cdot W; \\ W &= R_W^{-1} \cdot S. \end{aligned} \quad (4)$$

Так как операторы  $R_S, R_W$  положительно определены, то для них существуют обратные и имеют вид:

$$\begin{aligned} W &= R_S^{-1} \cdot S; \\ S &= R_W \cdot W. \end{aligned} \quad (5)$$

Формула  $R(k) = \sum_{n=0}^{N-1} W_n^* S_{n+k}$  реализует данную программу. А также в программе Matlab с помощью последовательности максимальной длины для  $N=15$  и  $N=31$  я рассчитала корреляционная функция при согласованной обработке фильтра и в результате получила графики (см.рис.1,2).

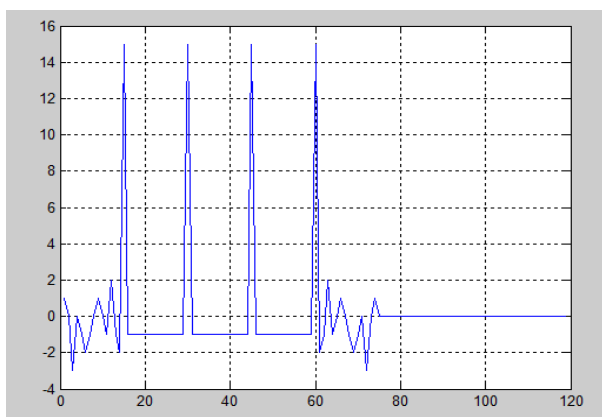


Рисунок 1 – Корреляционная функция при согласованной обработке фильтра при  $N=15$

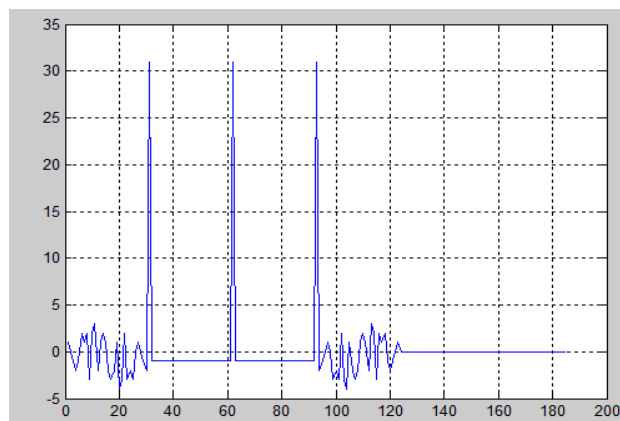


Рисунок 2 – Корреляционная функция при согласованной обработке фильтра при  $N=31$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ч.Кук, М.Бернфельд. Радиолокационные сигналы. Пер. с английского под ред. В.С.Кельзона. М.Изд-во «Советское радио», 1971. –568с.
2. Винокуров В.И. Изд-во «Судостроение», Ленинград, 1986.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ФИЛЬТРА В КЛАССЕ ДИСКРЕТНОЙ СТРУКТУРЫ

Кошевой В.М., д.т.н., профессор  
Штомпель К.Р., курсант  
Одесская национальная морская академия

Эффективность обработки дискретных сигналов определяется соотношением сигнал/помеха

Дискретный сигнал – это сигнал представляющий собой последовательность отсчетов взятых с некоторым шагом во времени

$$S(t) = \sum_{n=0}^{N-1} S_n P_n(t) \quad (1)$$

$$P_n(t) = p(t - nT_0) \quad (2)$$

Дискретный фильтр:

$$W(t) = \sum_{n=0}^{N-1} w_n p_n(t) \quad (3)$$

Необходимо оптимизировать весовой коэффициент фильтра. Воспользуемся уравнением Винера –Хопфа последующей формуле:

$$S(t) = \int_{-\infty}^{\infty} r(\tau, t) w(\tau) d\tau \quad (4)$$

Необходимо вместо функции  $w(\tau)$  подставить его выражение :

$$S(t) = \int_{-\infty}^{\infty} r(\tau, t) \sum_{n=0}^{N-1} w_n p_n(\tau) d\tau = \sum_{n=0}^{N-1} w_n \int_{-\infty}^{\infty} r(\tau, t) p_n(\tau) d\tau =$$

Теперь умножаем правую и левую часть на одну и ту же функцию  $p_0(t)$  и интегрируем по  $t$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} s(t) p_0(t) dt = \sum_{n=0}^{N-1} w_n \int_{-\infty}^{\infty} p_0(t) r(\tau, t) p_n(\tau) d\tau dt \quad (5)$$

Теперь рассмотрим сигнал в дискретном виде

$$\int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{N-1} s_n p_n(t) p_0(t) dt \quad (6)$$

Сумму выносим за интеграл :

$$\sum_{n=0}^{N-1} s_n \int_{-\infty}^{\infty} p_n(t) p_0(t) dt \begin{cases} m = 0; S_0 \int_0^{T_0} 1 dt = S_0 T_0 \\ n = 1; S_1 \int_{-\infty}^{\infty} p_1(t) p_0(t) dt = 0 \\ n \geq 1; 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} p_n(t) p_m(t) dt = \begin{cases} T_0; n = m \\ 0; n \neq m \end{cases} \quad (8)$$

$$S_0 T_0 = \sum_{n=0}^{N-1} w_n \iint_{-\infty}^{\infty} p_0(t) r(\tau, t) p_n(\tau) d\tau dt \quad (9)$$

Где  $\iint_{-\infty}^{\infty} p_0(t) r(\tau, t) p_n(\tau) d\tau dt = r_{0n}$

$$S_0 T_0 = \sum_{n=0}^{N-1} w_n r_{0n} \quad (10)$$

Для того чтобы получить второе уравнение необходимо обе части умножить на  $p_1(t)$ :

$$S_1 T_0 = \sum_{n=0}^{N-1} w_n r_{1n} \quad (11)$$

Для того чтобы получить третье уравнение необходимо обе части умножить на  $p_2(t)$ :

$$S_2 T_0 = \sum_{n=0}^{N-1} w_n r_{2n} \quad (12)$$

$$S_{N-1} T_0 = \sum_{n=0}^{N-1} w_n r_{N-1n} \quad (13)$$

Получаем систему  $n$ -уравнений с  $n$ - неизвестными:

$$r_{0n} w_0 + r_{0n} w_1 + \dots + r_{N-1n} w_n = T_0 S_{N-1}$$

$$r_{1n} w_0 + r_{1n} w_1 + \dots + r_{N-1n} w_n = T_0 S_{N-1}$$

$$\dots$$

$$r_{nn} w_0 + r_{nn} w_1 + \dots + r_{N-1n} w_n = T_0 S_{N-1}$$

Можем записать это уравнение в матричном виде:

$$\begin{matrix} r_{00} & r_{01} & \dots & r_{0n} & w_0 & T_0 S_n \\ r_{10} & r_{11} & \dots & r_{1n} & w_1 & T_0 S_n \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} & w_n & T_0 S_n \end{matrix} \times \begin{matrix} w_0 \\ w_1 \\ \dots \\ w_n \end{matrix} = \begin{matrix} T_0 S_n \\ T_0 S_n \\ \dots \\ T_0 S_n \end{matrix}$$

$$S = RW \quad (14)$$

Получаем формулу для расчета весовых категорий фильтра:

$$W = R^{-1} S \quad (15)$$

- этот фильтр обеспечивает самое большое значение сигнал/помеха

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач. - М.: Высшая школа, 1987. - 500с.
2. Ипатов В. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. М.: Техносфера, 2007. - 488с.

УДК 621.

## ПОДАВЛЕНИЕ БОКОВЫХ ЛЕПЕСТКОВ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ЛИНЕЙНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С МИНИМАЛЬНЫМ ЧИСЛОМ УПРАВЛЯЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор

А.А. Шершнёва, аспирант

Одесская национальная морская академия

При разработке систем защиты от различного рода помех, в настоящее время, внимание уделяется использованию квазиоптимальных методов обработки, близких по своим свойствам к оптимальным и в то же время более простым.

Это касается и формирования диаграммы направленности судового радиолокатора с использованием линейной антенной решетки [2, с.264].

В данной статье рассматривается система обработки в случае, когда управление осуществляется двумя весовыми коэффициентами пространственного фильтра – первым и последним:  $w_1, w_N$ , а все остальные весовые коэффи-

циенты приемной линейной антенной решетки выбираются равными весовым коэффициентам синфазной обработки:  $W_2; W_3; \dots; W_{N-1}$  [1, с.106].

Значение двух регулируемых весовых коэффициентов выбираются исходя из условия обеспечения нулевых значений диаграммы направленности в двух точках  $(\theta_1, \theta_2)$ . Выражение, описывающее диаграмму направленности линейной антенной решетки  $G(\theta)$  в этом случае могут быть записано в следующем виде:

$$G(\theta) = \sum_{i=1}^N W_i * e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta} = G_{N-2}(\theta) - \gamma_1(\theta) * G_{N-2}(\theta_1) - \gamma_2(\theta) * G_{N-2}(\theta_2) \quad (1)$$

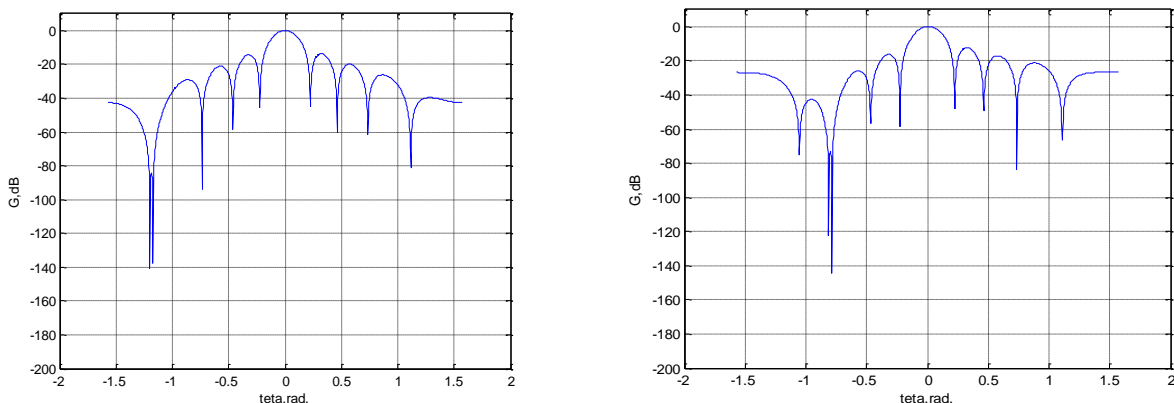
где  $G_{N-2}(\theta) = \sum_{i=2}^{N-1} W_i * e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta}$  - парциальная диаграмма направленности антенной решетки,  $(2)$

$$\gamma_1(\theta) = \frac{e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_2} - e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta}}{e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_2} - e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_1}}; \quad \gamma_2(\theta) = \frac{e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta} - e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_1}}{e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_2} - e^{j2\pi(N-1)\frac{d}{\lambda}\sin\theta_1}}; \quad (3)$$

$\varphi = 2\pi \frac{d \sin \theta}{\lambda}$  – фаза сигнала;  $\lambda$  – длина волны;  $d$  – расстояние между элементами антенны,  $\theta$  – угол между нормалью к антенне и направлением перпендикуляра к решетке.

(N-2)- фиксированных весовых коэффициентов выбираются исходя из условия соответствующего подавления среднего уровня боковых лепестков диаграммы направленности линейной антенной решетки с возможным расширением главного пика.

На рисунке 1 приведен пример подавления боковых лепестков при равномерной коррекции парциальной диаграммы направленности антенны (2).



а)  $\theta_1 = -1.2001, \theta_2 = -1.1718,$   
 $\rho = -0.2238, \text{ dB}$

б)  $\theta_1 = -0.8137, \theta_2 = -0.7854,$   
 $\rho = -0.2784, \text{ dB}$

Рисунок 1 – Диаграмма направленности при равномерной коррекции парциальной диаграммы

Как видно из графиков, подавление в заданных точках достаточно велико, и уровень боковых лепестков между подавляемыми точками составляет приблизительно -80 дБ. Потери в коэффициенте направленного действия  $\rho$  увеличиваются по мере приближения к главному пику.

Полученные результаты могут быть использованы в системах отслеживания движущихся целей (МТИ) и для задач спектрального анализа помех с сосредоточенным спектром.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кошевой В.М., Лавриненко В.П. Селекция целей на основе дискретной структуры с минимальным количеством управляемых элементов.-« Изв. Вузов – Радиоэлектроника», 1981, т. 24, №4, С. 105 – 107.
2. V. Koshevyy, A. Shershnova, The formation of zero levels of Radiation Pattern linear Antennas Array with minimum quantity of controlling elements, Proc. 9 Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques (ICATT-13), 2013, Odessa, Ukraine, pp.264-265.
3. Кошевой В.М., Свердлик М.Б., О возможностях полного подавления боковых лепестков функции неопределенности в заданной области. – «Радиотехника и электроника», 1974, т. 19, № 9, С. 1839 – 1846.
4. Кошевой В.М., Лавриненко В.П., Чупров С.С. Исследование эффективности квази-оптимального фильтра. Деп. ст. – В сб.: «РИПОРТ», ВИМИ. 1975, №2, – 7с.
5. Ширман Я. Д., Манжос В. Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М: Радио и связь, 1981. – 416с.

УДК 621.391.83

## ОПТИМИЗАЦИЯ СИГНАЛА ПРИ СОГЛАСОВАННОЙ ОБРАБОТКЕ В УСЛОВИЯХ МЕШАЮЩИХ ОТРАЖЕНИЙ

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор  
 А.А. Григус, курсант  
 Одесская национальная морская академия

В задачах выделения сигналов на фоне отражений важное значение имеет выбор формы зондирующего сигнала. Особенно в случае, когда обработка сигнала в приемном тракте производится согласованным фильтром.

Рассмотрим указанную синтеза в общей постановке. Как известно задача выделения сигнала на фоне мешающих отражений сводится к максимизации отношения сигнал/помеха. В случае согласованной обработки такое отношение имеет вид:

$$\Sigma = \frac{\left[ \int_{-\infty}^{\infty} |S(t)|^2 dt \right]^2}{\iint_{-\infty}^{\infty} S^*(t_1) R_s(t_1, t_2) S(t_2) dt_1 dt_2} \quad (1)$$

где  $S(t)$  – комплексная огибающая зондирующего сигнала;  $R_s(t_1, t_2) = \iint_{-\infty}^{\infty} \sigma(\tau, f) S(t_1 - \tau) S^*(t_2 - \tau) e^{i2\pi(t_1 - t_2)df} d\tau df$  – комплексная огибающая корреляционной функции мешающих отражений с дальностно - скоростным распределением  $\sigma(\tau, f)$ .

Общий подход к решению задач максимизации функционалов связан прежде всего с определением стационарных точек.

Уравнение для стационарных точек получим, приравняв первую вариацию нулю.

$$S(t_2) = \mu_s \int_{-\infty}^{\infty} S(t_1) H_s(t_1, t_2) dt_1 \quad (2)$$

В общем случае уравнение(2) можно переписать в операторном виде:

$$S = HS \quad (3)$$

Представляет интерес исследование возможности получения оптимальных сигналов путем применения метода последовательных приближений непосредственно к уравнению для стационарных точек в виде (3), что позволит избежать необходимости вычисления обратного оператора.

В самом деле, рассмотрим отношение сигнал/помеха, выраженное через функцию неопределенности

$$\Sigma = \frac{|\chi(0,0)|^2}{\iint_{-\infty}^{\infty} \sigma(\tau, f) |\chi(\tau, f)|^2 d\tau df} \quad (4)$$

где  $\chi(\tau, f)$  – функция неопределенности.

Так как метод последовательных приближений решения уравнения (3) позволяет определить сигналы, реализующие точки минимума отношения (4), то эти же сигналы доставляют максимум следующему отношению:

$$\begin{aligned} \Sigma &= \frac{|\chi(0,0)|^2}{1 - \frac{1}{\sigma_M} \iint_{-\infty}^{+\infty} |\chi(\tau, f)|^2 \sigma(\tau, f) d\tau df} = \\ &= \frac{|\chi(0,0)|^2}{\iint_{-\infty}^{+\infty} |\chi(\tau, f)|^2 d\tau df - \frac{1}{\sigma_M} \iint_{-\infty}^{+\infty} \sigma(\tau, f) |\chi(\tau, f)|^2 d\tau df} = \frac{|\chi(0,0)|^2}{\iint_{-\infty}^{+\infty} \sigma'(\tau, f) |\chi(\tau, f)|^2 d\tau df} \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\sigma'(\tau, f) = 1 - (\frac{1}{\sigma_M})\sigma(\tau, f)$ - дальностно-скоростное распределение, соответствующее дополняющей зоне;  $\sigma_M$ - максимальное значение функции  $\sigma(\tau, f)$  в силу основного свойства функции неопределенности. Таким образом, решение уравнения

$$S = H_{\sigma'(\tau, f)} S \quad (6)$$

Составленное, из отношения (6) методом последовательных приближений можно определить точки локальных максимумов отношения (5) для помеховых зон требуемой конфигурации.

Проведенные исследования на ЦВМ для различных начальных приближений обеспечивал сходимость итерационного процесса независимо от выбора начальных приближений. С учетом того, что с увеличением базы оптимизируемых сигналов возрастают трудности, связанные с необходимостью вычисления обратного оператора, использование подхода на основе дополняющей зоны оказывается более предпочтительным с точки зрения общих временных затрат ЦВМ на решение задачи синтеза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов/Л.Е.Варакин М.: «Советское радио», 1970-371 с.
2. Голд Б., Рэйдер Ч. Цифровая обработка сигналов/ М.: «Советское радио», 1973. – 367 с.



## РАСЧЕТ ФУНКЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМЕ MATLAB

А.В. Шишкин, к.т.н., доцент

Д.В. Мельникова, курсант

Одесская национальная морская академия

Сложными называют сигналы, для которых произведение их длительности на занимаемую полосу частот значительно больше единицы.

Функцию неопределенности в общем виде можно представить по формуле:

$$R(\tau, \Omega) = \frac{1}{2E} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{U}(t) \cdot \dot{U}^*(t - \tau) e^{j\Omega t} dt \quad (1)$$

где  $\dot{U}$  – комплексная огибающая сигнала;  $\tau$  — сдвиг по времени,  $\Omega$  — сдвиг по частоте.

В случае сложного ЛЧМ сигнала функция неопределенности вытянута в направлении  $f = k\tau$  (где  $f$  - закон изменения частоты) и сжата в перпендикулярном (имеет "ножевую" форму) (см. рис 1(а)). Это означает, что разрушаемая с ростом  $\tau$  корреляция восстанавливается при наличии определенной расстройки по частоте.

Таким образом, несмотря на высокую разрешающую способность ЛЧМ-импульса по времени и по частоте, совместная разрешающая способность оказывается не такой уж высокой, и даже взаимная корреляция сигналов может оказаться довольно большой (при  $f = k\tau$ ).

Восстановление (сохранение) корреляции сигналов, возникающее при одновременном согласованном изменении обоих параметров  $\tau$  и  $\Omega$ , приводит в радиолокации к проблеме неопределенности дальности – доплеровский сдвиг. Влияние доплеровского сдвига проявляется в появлении ошибки при определении дальности цели (времени запаздывания сигнала).

Второй тип неопределенности связан с относительной величиной боковых лепестков функции неопределенности. Боковые лепестки приводят к ложным выбросам на выходе согласованного фильтра. В случае многих сигналов, имеющих большой динамический диапазон, они могут быть ошибочно приняты за реальные сигналы. Этот тип неопределенности, связанный с ложными целями, может быть более опасным, чем шумовые ложные выбросы обычного типа, так как сигналы от ложных целей ведут себя как детерминированные. Следует также считаться с опасностью того, что более слабые сигналы окажутся замаскированными интерферирующими боковыми лепестками сильных сигналов.

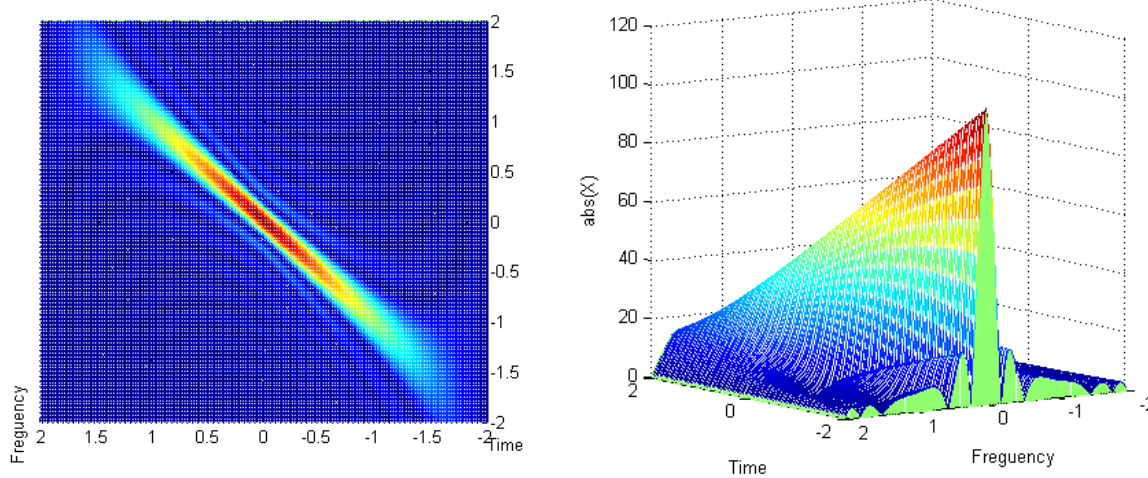
Для расчета ставления функции неопределенности была составлена программа в среде пакета MatLab, текст которой с соответствующими комментариями приведен ниже:

```

%Программа расчета функции неопределенности сложного сигнала
clear all;
f=0;% начальная частота
mu=5;% коэффициент роста частоты
N=100;% число точек дискретизации
T=1;% вектор времени
t=0:T/N:1;
f2=f+max(t)*mu; % конечная частота
s=exp(2*pi*j*(f+mu*t).*t);
X=[];
S2=fliplr(s);%согласованный фильтр
for l=0:.1:10; %цикл расчета функции неопределенности
S1=[s.*exp(-j*2*pi*l*t)];
X=[X;conv(S2,conj(S1))];
if l==0; % сечение для нулевой частоты Допплера
    stem(conv(S2,conj(S1)));
end
end;
[m,n]=size(X);
Ay=linspace(-2,2,n);
Ax=linspace(-2,2,m);
figure(3)
meshz(Ax,Ay,(abs(X)'));
xlabel('Time');
ylabel('Freguency');
zlabel('abs(X)');

```

Вид графиков функций неопределенности, произведенных в среде Mat Lab показан на рисунке 1.



(а) (б)  
 Рисунок 1 – Функция неопределенности ЛЧМ сигнала:  
 вид сверху (а), поперечное сечение по времени (б).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование параметров ЛЧМ сигналов. Методическая разработка к лабораторной работе по дисциплине «Прием и обработка сложных сигналов» / сост. Н.П. Никитин. - Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2010. 34 с.
2. Radar Signal Analysis and Processing Using MatLab/ compiled by Bassem R. Mahafza. – NW.:CRC Press Taylor & Francis Group, 2005.- 479 p.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ М-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В СИСТЕМЕ МАТЛАВ

А.В. Шишкин, к.т.н., доцент

Т.В. Шуляк, курсант

Одесская национальная морская академия

М-последовательности (или как их еще называют - последовательности максимальной длины) используются для шифрования, в навигационных и связанных системах с расширением спектра и других приложениях.

Для расширения спектра сигнала последовательности должны удовлетворять определенным требованиям автокорреляции. Под термином автокорреляции в математике подразумевают степень подобия функции самой себе в различные моменты времени.

Корреляционная функция (или взаимокорреляционная функция) двух сигналов  $x(t)$  и  $y(t)$  определяется следующим образом:

$$R_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) y(t - \tau) dt \quad (1)$$

Автокорреляционная функция:

$$R_{xx}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) x(t - \tau) dt \quad (2)$$

Для дискретных сигналов ВКФ и АКФ определяются выражениями:

$$R_{xy}(k) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} x(i) y(i - k) \quad (3)$$

$$R_{xx}(k) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} x(i) x(i - k) \quad (4)$$

Формулы (1) – (4) называются формулами свертки. Таким образом, КФ – есть свертка двух сигналов.

Для формирования  $m$ -последовательностей используют регистр сдвига с обратными связями.

Любая  $m$ -последовательность задается образующим полиномом следующего вида:

$$g = g_m X^m + g_{m-1} X^{m-1} + g_{m-2} X^{m-2} + \dots + g_2 X^2 + g_1 X + g_0 \quad (5)$$

где  $x^i$  - соответствующие разряды регистра;

$g_i$  - коэффициенты образующего полинома, равны либо 0 либо 1.

Для формирования  $m$ - последовательности составлена программа в среде MatLab код которой представлен ниже:

```
%Генерация m-последовательности
%и фильтрация согласованным фильтром
clear all;
g=[1 0 0 1 1];% генераторный полином
r=length(g)-1;%Длина сдвигающего регистра
```

```

N=2^r-1;%Длина m-последовательности
seq=[];%Изначально регистр для накопления m-последовательности пуст
for i=1:N%формируем m-последовательность (0,1)
    state=shift2mask(g,i);%текущее состояние сдвигающего регистра
    state;%можно вывести его состояние в двоичном коде
    bi2de(state);%и преобразовать двоичный код в десятичный
    seq=[seq state(1)];%наращиваем последовательность из первого разряда
end;

```

Рассмотрим результаты расчетов для  $m$  - последовательности и кода Баркера (см. рис. 1).

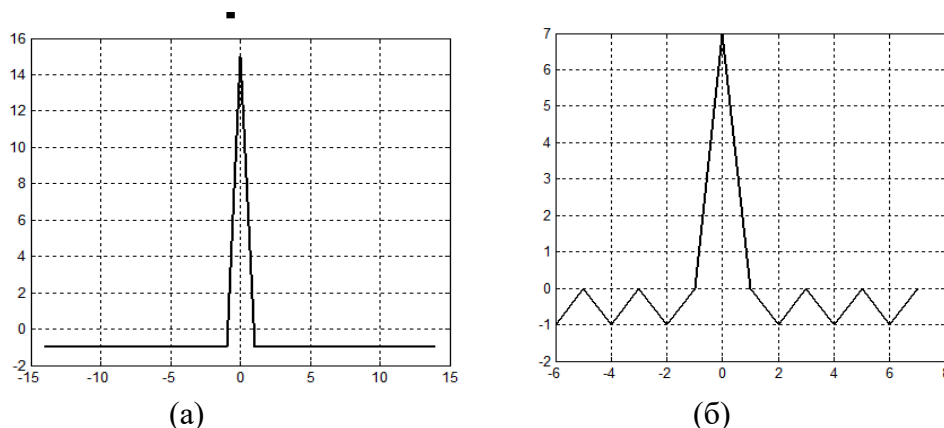


Рисунок 1: а). Автокорреляционная функция  $m$ -последовательности для  $N=15$ ;  
 б). Автокорреляционная функция кода Баркера для  $N=7$ .

Данная программа позволяет рассчитывать АКФ других сигналов. Формирования  $m$ -последовательности заданной длины осуществляется путем заданного соответственно полинома представленном в коде программы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование широкополосных сигналов. Метод прямого расширения спектра. Методическая разработка к лабораторной работе по дисциплине «Системы связи на основе шумоподобных сигналов» / сост. А.В. Шишкин. - Одесса: ОНМА, 2010. – 6 с.

УДК 621.396.962.2

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЛЧМ-СИГНАЛА НА ВЫХОДЕ ФИЛЬТРА СЖАТИЯ

А.В Шишкин, к.т.н., доцент

А.А. Григус, курсант

Одесская национальная морская академия

Целью данной работы является исследование влияния весовой (оконной функции) обработки на сжатие сигнала. В данной работе будет проводиться моделирование в пакете MatLab.

ЛЧМ - сигнал позволяет путем использования согласованной фильтрации получить сжатый сигнал на выходе фильтра.

Мешающим фактором является наличие боковых лепестков.

Можно оптимизировать сигналы путем умножения весовых коэффициентов на оконную функцию. С помощью этого можно варьировать ширину главного лепестка и уменьшать боковые лепестки.

Искажения, вносимые применением окон, определяются размером окна и его формой. Выделяют два основных свойства частотных характеристик окон: ширина главного лепестка и максимальный уровень боковых лепестков. Применение окон, отличных от прямоугольного, обусловлено желанием уменьшить влияние боковых лепестков за счет увеличения ширины главного.

**Окно** — весовая функция, которая используется для управления эффектами, обусловленными наличием боковых лепестков в спектральных оценках (растеканием спектра). Имеющуюся конечную запись данных или имеющуюся конечную корреляционную последовательность удобно рассматривать как некоторую часть соответствующей бесконечной последовательности, видимую через применяемое окно.

Рассмотрим отрывок программы на примере окна Хэмминга:

```
wH=(hamming(N+1))';  
xH=x.*wH;  
bH=fliplr(xH);  
bH=conj(fliplr(xH));  
yH=filter(bH,1,x2);  
yH=abs(yH)/max(abs(yH));  
yH_dB=20*log10(abs(yH)/max(abs(yH)));  
plot(yH_dB');grid;zoom xon;
```

На выходе фильтра сжатия получим следующее

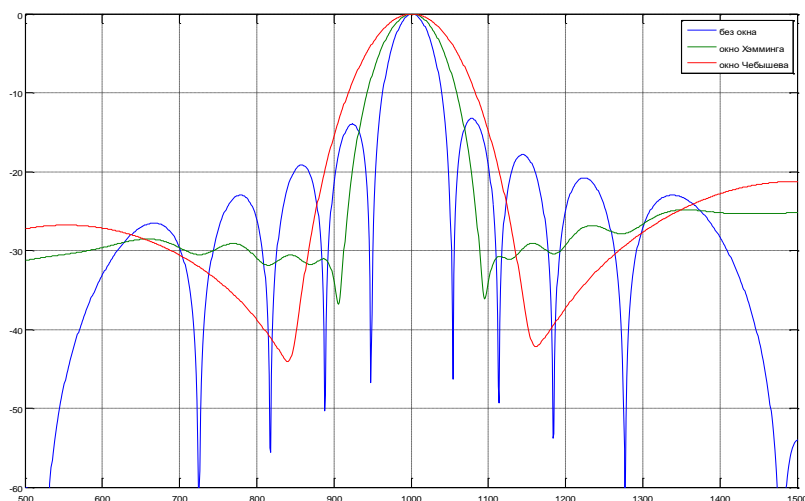


Рисунок 1 – Сигнал на выходе фильтра

В таблице 1 приведена ширина главного лепестка на выходе фильтра сжатия в трех различных вариантах применения окон. Измерялась на уровне -30 дБ.

Таблица 1 – Ширина главного лепестка на выходе фильтра сжатия.

Варианты оконных функций	Ширина главного лепестка	Уровень боковых лепестков, дБ
Без окна	1	-15
Окно Хэмминга	1,6	-32
Окно Чебышева	2,4	-34

Таким образом весовая обработка позволяет уменьшить уровень боковых лепестков за счет расширения главного лепестка.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Chen Baixiao , Synthetic Impulse and Aperture Radar (SIAR): A Novel Multi-Frequency MIMO Radar// John Wiley & Sons. – 2014.
2. Никитин Н.П. Прием и обработка сложных сигналов: учебное пособие. /Н.П.Никитин, В.И. Лузин, Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. –193с.

УДК 621.397.27:355.40

## КОМПЛЕКСНА КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ Й ТЕЛЕВІЗІЙНОЇ ОХОРОНИ

С.А.Михайлов, д.т.н., професор  
Ю.М. Байзан, курсант  
Одеська національна морська академія

Охоронне телебачення (системи охоронного телебачення – СОТ, системи відеоспостереження, охоронні відеосистеми, системи відеоконтролю, системи замкнутого телебачення – ССТV Closed Circuit TeleVision і т.д.) – це той напрямок розвитку систем безпеки, що найбільш затребуван й що швидко розвивається.

Необхідність використання телевізійних СОТ може бути викликана або високою вартістю контрольованого об'єкта, або вимогами забезпечення його безпеки, або іншими обґрунтованими причинами. Такі системи використовуються в банках, магазинах, музеях, житлових будинках і т.д. СОТ дозволяють значно скоротити кількість охоронців і дають можливість приймати швидке рішення, якщо відбулося порушення біля охоронюваного об'єкта.

СОТ в основному складається з однієї чи декількох малогабаритних відеокамер, ліній зв'язку і моніторів. При відносно великій кількості охоронюваних об'єктів потрібно відповідне число моніторів. Це у свою чергу збільшує число операторів, що спостерігають за об'єктами на екранах моніторів. Часто необхідність одночасно спостерігати за великою кількістю зображень викликає

стомлюваність оператора, що може пропустити момент порушення. Крім того, велике число моніторів вимагає відповідного приміщення для їхнього розміщення.

Ведення тривалого спостереження за охороняєми об'єктом при використанні великого числа відеокамер сполучено з постійною фізичною і психологічною напругою оператора. Через якийсь час це може привести до ослаблення уваги і можливого пропуску порушення охоронюваної зони.

При використанні охоронної системи на базі різних тривожних датчиків, навантаження на увагу оператора значно нижче, тому що він активно реагує тільки на сигнал тривоги при порушенні охоронюваної зони. Але в цьому випадку невідома точна причина спрацьовування датчика і, отже, характер дій оператора.

Система охоронного відеоспостереження на базі комп'ютера "знімає" ці проблеми, поєднуючи в собі переваги обох підходів до охорони об'єктів, і дозволяє:

- забезпечити відео спостереження за охоронюваним об'єктом;
- завдяки виявителю руху, при порушенні охоронних зон, подавати звуковий сигнал з автоматичним висновком тривожної камери на контрольний монітор;
- перегляд у режимі реального відео (25 кадрів / сек.) будь-якої обраної відеокамери на екрані комп'ютерного монітора;
- автоматично і по команді оператора записувати відеоінформацію з можливістю наступного перегляду;
- при наявності комп'ютерної мережі переглядати зображення від будь-якої відеокамери на вилучених комп'ютерах;
- користатися всіма перевагами запису відео в цифровому масштабі;
- підключати додатково зовнішні тривожні датчики і виконавчі пристрої;
- вести протокол роботи системи і дій оператора.

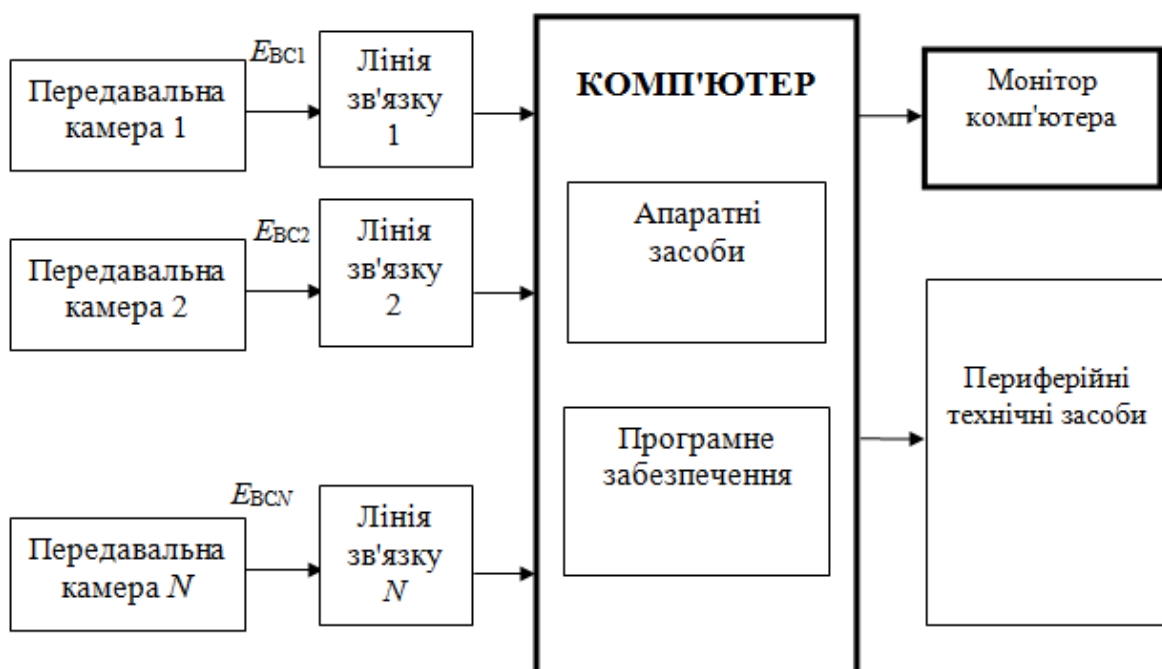


Рисунок 1– Конфігурація комп'ютерної системи відео нагляду

Використання цифрових методів обробки відеосигналів дозволяє значно розширити можливості телевізійної системи контролю і спостереження. Так, наприклад, для СОТ у момент порушення можна “сфотографувати” декілька послідовних фаз руху біля контрольованого об'єкта. При цьому “фотографії” можуть по черзі відтворюватися на екрані монітора або виводитися на печатку. При необхідності можливе збільшення розмірів зображення “фотографії, що зацікавила”.

Крім фотографування в момент порушення може бути поданий сигнал тривоги, включені відеореєстратор або інші пристрої.

УДК 355.40

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОГРАММНЫХ И АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ СУДОВИХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ**

С.А. Михайлов, д.т.н., профессор

Д.В. Мельникова, курсант

Одесская национальная морская академия

Термин «Информационная безопасность», или по-английски «Cybersecurity», не так часто используется в практике морских специалистов на борту торговых судов, хотя несомненно у моряков присутствует осознание того, что бортовые персональные компьютеры и компьютерные системы требуют защиты от вирусов и других вредоносных программ, и что игнорирование современных киберугроз – это высокая степень риска и угроза для безопасности мореплавания. Можно отметить, что в морском профессиональном сообществе уже существует общее осознание проблемы и политика отдельных компаний учитывает эти угрозы, иногда путем введения полной киберзащиты.

На каждом современном судне имеются компьютерные информационные системы с их программными и аппаратными средствами. Они используются для такой деятельности как навигация, командование и контроль, инженерия, грузоперевозки, связь, управление, обслуживание, учет и инвентаризация, для социального или развлекательного использования.

Во многих судоходных компаниях реализована политика информационной безопасности, которая охватывает все сферы их деятельности и бизнес, как на суше, так и на море. Цели, установленные при такой политике, включают в себя: защиту информации, обеспечение конфиденциальности, целостность и достоверность информации (аппаратного обеспечения, программного обеспечения и данных) для поддержки коммерческой деятельности, с учетом действующих регламентов и правил, обеспечение безопасности эффективной работы.



С точки зрения важности обеспечения информационной безопасности все судовые компьютерные системы могут быть ранжированы, по крайней мере, на три уровня информационной безопасности на борту судна:

1. Бытовое использование, развлечения, отдых, интернет и персональная связь;
2. Бизнес-связь, администрирование и управление;
3. Информационные и управляющие системы – электронные карты ECDIS, навигационные системы, управление главным двигателем и размещением груза и др.

Ясно, что эти три уровня не одинаково чувствительны или критичны к воздействию кибеугроз информационной безопасности для программных и аппаратных компьютерных средств. Последствия воздействия на эти системы совершенно различны для обеспечения безопасности мореплавания.

Учитывая эти три уровня, безопасная с точки зрения информационной безопасности судовая компьютерная система должна включать в себя:

- Оборудование – аппаратное обеспечение, в частности индивидуальные персональные компьютеры, которые связаны между собой в локальную судовую сеть и, если необходимо, защищены от тепла, вибраций, влажности, и т. п.
- Антивирусное и противовредоносное программное обеспечение, защищающее всю компьютерную систему и постоянно обновляющееся.
- Соответствующее резервное копирование данных, как бортовой, так и береговой компьютерных систем.
- Контроль доступа пользователей – каждый пользователь на борту судна должен получать сетевой доступ к компьютерной системе, соответствующий его статусу, капитан ли он, или посетитель. Контроль может осуществляться паролем или физическим доступом.
- Восстановление при сбоях – если компьютерная рабочая станция или сервер отказывают, может ли он быть перестроен/перезагружен или перемещен с предварительно сконфигурированной резервной копией последнего сеанса работы.
- Организационные охраняемые меры, предусматривающие ответственность за инциденты и происшествия. Информационные угрозы и компьютерные атаки могут быть внутренними и внешними. Кто из членов экипажа их допустил и как будет отвечать за допущенные аварии, отказы и повреждения?

Известной проблемой являются сбои в навигационных системах. GPS и другие системы GNSS могут не работать на протяжении нескольких часов подряд, как вследствие технической аварии, так и при умышленном отключении, например государством, ведущим военные действия. Так произошло, например, с российской системой ГЛОНАСС в течение почти 12 часов 2 апреля текущего 2014 года. Погрешность определения места при этом составляла 55 км. Для моряков, уже привыкших определять свое местонахождение в море по спутнико-

вым компьютерным системам, это близко к катастрофе! Кроме того, простые хакерские помехи навигационным системам могут проникать прямо из сети Интернет.

Другой важной проблемой является вероятность вирусного повреждения электронных карт ECDIS. Одобренная типовая ESDIS, которая согласована с запросами ИЕС и стандартами ISO, должна быть в достаточной безопасности и изоляции. Однако, проблемы могут возникать из-за неусовершенствованных систем, введения вируса от внешнего носителя через USB-порт, или неквалифицированно установленную операционную систему компьютера, которая соединена с внешними сетями связи без защитного брандмауэра. Это все примеры рисков, от которых нужно защищать судовые компьютерные системы.

Может быть необходимо ввести новый термин «кибергигиена» и дать ему определение, например, как «меры, которые пользователи компьютеров могут реализовать, чтобы улучшить защиту своей информации, обеспечить свою кибербезопасность и лучше защитить самих себя в компьютерной сети». Эти меры могут включать в себя реорганизацию инфраструктуры компьютерных систем и сетей, аппаратного обеспечения, оборудования и устройств; контроль и корректировку лицензионного авторизованного программного обеспечения, исправление и удаление нелегального неавторизованного программного обеспечения; постоянный контроль, подготовка и анализ; формализация существующей неформальной информации по управлению информационной безопасностью.

Во многих случаях моряки не отличаются от других пользователей компьютеров и нуждаются во внедрении подобных мер «кибергигиены». Компьютерное оборудование на борту судна зачастую монтируется по принципу «установлено-и-забыто». Для судовых информационных компьютерных систем такой подход не может быть приемлемым, в них должны быть предусмотрены мероприятия по обеспечению информационной безопасности и защиты. Важно, чтобы такая концепция нашла понимание среди экипажей и всего персонала судов, получила одобрение и поддержку морской общественности и специалистов, так, как это уже реализуется в береговых компьютерных информационных системах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. David Patraiko. Cyber security onboard. // Seaways: The International Journal of The Nautical Institute/ September, 2014. - London - UK.: Stephens&George, Merthyr Tydfil, 2011. - p. 9.
2. Jones Steven. Keeping clear of a new threat. // Seaways: The International Journal of The Nautical Institute/ September, 2014. - London - UK.: Stephens&George, Merthyr Tydfil, 2011. - p. 10-11.
3. Kevin Tester. GLONASS failure affects satellite positioning. // Seaways: The International Journal of The Nautical Institute/ September, 2014. - London - UK.: Stephens&George, Merthyr Tydfil, 2011. - p. 12-14.
4. Wake Philip. Guarding against failure. // Seaways: The International Journal of The Nautical Institute/ September, 2014. - London - UK.: Stephens&George, Merthyr Tydfil, 2011. - p. 3.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОГО РАДИОДОСТУПА К ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОМУНИЦИОННЫМ СЕТЯМ**

С.А. Михайлов, д.т.н., профессор

В.А.Геворгян, курсант

Одесская национальная морская академия

Развитие новых беспроводных технологий таких, как CDMA (технология с кодовым разделением каналов), GSM (глобальная система для мобильных коммуникаций), 802.11, WAP, 3G, GPRS, Bluetooth, WiMax говорит о том, что происходит научно-техническая революция в этой области. Весьма перспективно и развитие беспроводных локальных сетей (WLAN), Bluetooth (сети средних и коротких расстояний). Беспроводные сети развертываются в аэропортах, университетах, отелях, ресторанах, предприятиях.

С появлением беспроводной связи на первый план вышли вопросы обеспечения безопасности. Основные угрозы безопасности при использовании беспроводных сетей связаны с перехватом информации спецслужб, коммерческих предприятий и частных лиц, снятием денежных средств с кредитных карточек граждан, кражей оплаченного времени соединения, вмешательством в работу информационно-телекоммуникационных систем, несанкционированным доступом к конфиденциальной информации и др.

Среди методов обеспечения доступности информации в беспроводных сетях исследователями выделяется комбинирование различных методов контроля, дублирования, резервирования. Целостность и конфиденциальность информации в беспроводных сетях обеспечивается методами построения виртуальных каналов, основанных на применении криптографических инструментов.

Общий недостаток данных методов - снижение производительности сети, связанное с требованиями к дополнительной обработке передаваемой информации. Указанный недостаток особенно критичен для передачи цифровой видеоинформации. Кроме того, совершенствование методов криптоанализа все более снижает надежность существующих криптоалгоритмов.

Из вышесказанного следует вывод о необходимости разработки новых способов защиты информации при передаче в распределенных беспроводных сетях в условиях воздействия преднамеренных атак.

Анализ основных методов реализации угроз безопасности современных беспроводных информационно-телекоммуникационных систем показал, что существует значительное число уязвимостей этих систем, которые могут использоваться для организации и проведения сетевых атак. Выделены и проанализированы три основных вида атак на беспроводные сети: пассивные атаки, активные атаки и атаки помехами. Оценена эффективность защиты беспроводных ИТС от каждого вида атак.

Исследованы основные риски безопасности, характерные для беспроводных сетей:

- риск не авторизированного доступа;
- риск не фиксированной природы связи;
- риск уязвимостей сетей и устройств;
- риск новых угроз и атак;
- риск утечки информации из проводной сети, как сегмента беспроводной ИТС;
- риск особенностей функционирования беспроводных сетей.

Безопасность беспроводных сетей требует особого внимания, потому что из-за большого радиуса действия она может быть подвержена территориально распределенным атакам. Поэтому особое внимание было уделено методам и средствам защиты информации в беспроводных информационно-телекоммуникационных системах, которые предполагают комплексное использование технических (аппаратных) средств, программных средств и организационные мер.

На основе анализа известных методов защиты информации, в том числе и криптографических, сделан вывод о том, что для защиты беспроводных сетей необходимо применять:

- разграничение доступа, основанное на MAC-аутентификации;
- идентификацию и аутентификацию пользователей;
- запрет широковещательной передачи идентификатора SSID;
- 64- и 128-битное шифрование трафика.

Сформулированы предложения по развитию и совершенствованию систем безопасности беспроводных информационно-телекоммуникационных сетей на основе модели многоуровневой защиты. Эта модель определяет набор уровней или профилей защиты информационной системы. Корректная организация защиты на каждом из выделенных уровней, позволяет уберечь систему от реализации угроз информационной безопасности. В многоуровневую защиту входят физическая защита, защита сети, защита узлов, защита пользовательских приложений и защита данных в сети.

Построение защищенной инфраструктуры беспроводной сети, способной удовлетворять современным требованиям по безопасности информационных ресурсов, требует совершенствования всех уровней своей ИТ-среды - от средств хранения данных и вычислительных систем до критически важных приложений, в которых обрабатывается информация. Имея надежную инфраструктуру, гарантирующую безопасность и отказоустойчивость информационных систем, можно существенно снизить риск неожиданного вторжения, обеспечить непрерывность нормального функционирования беспроводной ИТ-системы в условиях динамично меняющихся задач.

## ПЕРСПЕКТИВНІ ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСТАВКИ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО КОНТЕНТУ КОРИСТУВАЧУ

С.А.Михайлов, д.т.н., професор  
А.В.Орешкова, курсант  
Одеська національна морська академія

За останнє десятиліття системи супутникового, наземного і кабельного телерадіомовлення продовжували розвиватися швидкими темпами не тільки в кількісних, але і в якісних відносинах. При появі систем безпосереднього мовлення з супутників цей процес придбав глобальний характер, оскільки завдяки успіхам в області електроніки і радіотехніки індивідуальні приймальні установки стали доступні основній масі населення земної кулі. Запропонований на початку 1990-х років метод перетворення аналогових сигналів в цифрові при стисненні спектру в десятки разів при високій якості зображення дозволяє передавати в стандартному частотному каналі в 4-8 разів більше число телепередач.

З'явилися нові послуги для користувачів: передача мови, доступ в інтернет, організація відеоконференцій, ряд мультимедійних послуг і багато що інше.

Впровадження порівняльно недорогих і оперативно розгортаних земних станцій типу VSAT в труднодоступних і віддалених районах дозволило успішно вирішити задачу обхвату багатопрограмним телерадіомовленням і засобами зв'язку всього населення нашої великої країни.

До таких напрямів, в першу чергу, слід віднести:

- двосторонній обмін інформацією між джерелом і користувачем (інтерактивність);
- розвиток цифрових систем радіомовлення;
- взаємодія систем телерадіомовлення і традиційних засобів телекомунікацій - телефонії, передачі даних і т.п.;
- широке застосування систем телерадіомовлення в освіті, медицині, бізнесі, в культурному обміні, соціальній сфері і так далі

У період з початку 1990-х років по теперішній час досягнуті серйозні успіхи по впровадженню нових, головним чином, цифрових методів передачі телевізійних і радіомовних програм в різних видів каналах: тропосферних (наземних), супутникових, кабельних.

Цифрові методи передачі телевізійних і радіомовних програм успішно впроваджуються в супутникових системах зв'язку, де в даний час до 70% програм телебачення передається в цифровій формі за стандартом MPEG-4.

Активно впроваджуються цифрові методи передачі в кабельних мережах, де в стандартному телевізійному каналі зі смугою 8 МГц може бути передане до шести телепередач в цифровому форматі, використовуючи багатопозиційні сигнали з модуляцією 16-QAM - 256 QAM.

Практичне впровадження складових систем багатoprogramного телевізійного мовлення і телекомунікацій у верхній частині сантиметрового діапазону (27,5...29,5 ГГц) і в міліметровому діапазоні (40,5...43 ГГц).

Аналогові системи телемовлення існують, принаймні, до 2020 р. хоч би тому, що із-за низької купівельної спроможності населення України і країн СНД вельми складно замінити більш ніж 80-мільйонний парк аналогових телевізорів цифровими за 5-8 років. Слід враховувати, що найдешевший варіант цифрового приймача у вигляді спеціальної приставки set-top-box до сучасних моделей телевізорів заздалегідь оцінюється в сумі порядку 80...200 дол.

До цифрового телевізійного приймача в цей час пред'являються вимоги як до універсального приладу, що сумістність функції персонального комп'ютера, телевізора, телефону, принтера і ряду інших приладів.

Абонентський термінал не повинен бути простою приставкою до телевізора, здатною перетворити прийняту з каналу зв'язку цифрову програму, а бути багатофункціональним інформаційним пристроєм, який разом з прийомом десятки цифрових телепрограм високої якості, дозволяє забезпечити інтерактивність для отримання медичних послуг вдома, інформацію про погоду в різних регіонах країни, про транспортні засоби для міжміських і міжнародних поїздок і про багато що інше.

Розвиток систем передачі інформації в сучасних умовах, у тому числі і систем для передачі телевізійних і радіомовних програм, йде по двох напрямках:

- 1) інтеграція всіх видів цифрових сигналів від джерел інформації (телебачення, віщання, телефонія, дані і тому подібне) загалом інформаційному потоці;
- 2) впровадження інтерактивних або двосторонніх мереж, що дозволяють безпосереднє спілкування користувача з джерелом інформації.

Реалізовані проекти показали незаперечні переваги DVB-T. Австралія провела скрупульозний порівняльний аналіз стандартів DVB-T і ATSC, результатом якого з'явився вибір DVB-T. Сінгапур провів порівняльні випробування DVB-T, ATSC і японського стандарту ISDB-T, який є модифікацією DVB-T, і також вибрав DVB-T.

Реальне зменшення потужності передавача забезпечується тільки для DVB-T. Від застосування DVB-T виграють різні групи населення. Люди "з товстим гаманцем" отримують в будинок цифрову якість телебачення з домашнім кінотеатром, телебачення за запитом, не афішуючи цього, оскільки не потрібні супутникові антени. У простому випадку прийом можливий на кімнатну антену. Цифрове телебачення забезпечує також доступ в Internet із зворотним каналом через стільникову телефонію.

Люди з середнім достатком зможуть підключити до своїх телевізорів недорогі приставки (STB) і отримувати студійну якість ТВ програм. Люди з низьким рівнем життя теж виграють. Оскільки частотний план багатьох міст практично вичерпаний, збільшення кількості каналів неможливе без переходу до ЦТ. Власники нових телепередач надаватимуть приймальне устаткування кабельним операторам, які розподілятимуть програми ЦТ в звичайному аналоговому вигляді. Телеглядачі при такій побудові мережі виявляються ближчими до джерела телепрограми, і якість при цьому підвищується істотно,

оскільки вихідний сигнал цифрового приймача має студійна якість і значно менше схильний до впливу яких-небудь перешкод при розподілі по кабельній мережі.

Телевізійним компаніям вигідно DVB-T, тому що на одній частоті можна передавати декілька програм і, відповідно, витрати на ліцензію знижуються, а як слідство зниження потреби в частотах також неминуче приведе до зменшення їх вартості.

Система телемовлення у стандарті DVB-H для мобільних терміналів вже існує не перший рік і успішно розвивається. В першу чергу технологія DVB-H прагне зайняти свою нішу у вже існуючих ефірних мережах, наприклад стандарту DVB-T, як його еволюція.

Обидва ці стандарту утворюють систему з симбіозом цифрового телебачення і мобільного зв'язку.

При цьому використовуються наступні особливості стандарту DVB-H, що відрізняють його від базового стандарту DVB-T і дозволяють отримати необхідну якість, що узгоджується з можливостями мобільного приймального терміналу:

- зменшена роздільна здатність (320x240 пікселів), оскільки немає сенсу на невеликому екрані намагатися відтворити картинку з гарним дозволом, тому можна передавати в 10-15 разів більше телепрограм, чим при DVB-T;

- стандарт DVB-H відрізняється від DVB-T тим, що він оптимізований для мобільного прийому за допомогою технології тимчасових інтервалів: програма передається на термінал не постійно, а короткими пакетами з щільною упаковкою даних, потім приймач на якийсь час вимикається і йде відтворення сигналу з буфера. Таким чином економиться енергія батарей, а сама система стає менш чутливою до перешкод, більш перешкодостійкий код R-S (255,191);

- враховуються проблеми, що не виникають в стаціонарних ресіверах, а саме спотворення, що вносяться т.з. ефектом Доплера, виникають при використанні переносних пристроїв, наприклад, в рухомому транспорті, а також імпульсні перешкоди від інших компонентів мобільного апарату;

- передбачена можливість використання DVB інкапсулятора для роботи із стандартним каналом IP з більш простою організацією зворотнього каналу;

- більш оптимальний для мобільного прийому режим 4K;

- сигнал ТБ потоку DVB-H вводиться в загальний канал в режимі 4k додатково до 2k і 8k що вже є для DVB-T.

## **ЕЛЕКТРОННА РАДІОПРОМЕНЕВА СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ ДЛЯ ОХОРОНИ ПЕРИМЕТРУ ТА БЕЗПЕКИ**

С.А.Михайлов, д.т.н., професор  
А.І.Рахнянская, курсант  
Одеська національна морська академія

Сучасні електронні системи охорони вельми різноманітні і в цілому достатньо ефективні. Проте більшість з них мають загальний недолік: вони не можуть забезпечити раннє детектування вторгнення на територію об'єкту, наприклад морського судна. Такі системи, як правило, орієнтовані на виявлення порушника, який вже проник на територію, що охоронялася, або в будівлю. Це стосується, зокрема, систем відеоспостереження, вони за допомогою пристрою відеозапису можуть лише підтвердити факт вторгнення після того, як він вже відбувся. Кваліфікований порушник завжди розраховує на певне тимчасове “вікно”, яке проходить від моменту проникнення на об'єкт до моменту спрацьовування сигналізації. Мінімізація цього інтервалу часу є корінним чинником, що визначає ефективність будь-якої охоронної системи, і в цьому сенсі привабливість периметральної охоронної сигналізації незаперечна.

Периметральна межа об'єкту є якнайкращим місцем для раннього детектування вторгнення, оскільки порушник взаємодіє в першу чергу з фізичним периметром і створює дії, які можна зареєструвати спеціальними датчиками. Якщо периметр являє собою огорожу у вигляді металевих ґрат, то її доводиться перерізувати або долати зверху; якщо це стіна або бар'єр, то через них потрібно перелізти; якщо це стіна або дах будівлі, то їх потрібно зруйнувати; якщо це відкрита територія, то її потрібно перетнути. Всі ці дії викликають фізичний контакт порушника з периметром, який надає ідеальну можливість для електронного виявлення, оскільки він створює певний рівень вібрацій, що містять специфічний звуковий “образ” вторгнення. За певних умов порушник може обійти фізичного контакту з периметром. В цьому випадку можна використовувати датчики вторгнення, що зазвичай грають роль вторинної лінії захисту. Всі системи охорони периметра включають:

- датчики (сповіщувачі);
- пульт-концентратор;
- виконуючі пристрої.

Датчик - це чутливий елемент, що перетворює контрольований параметр в електричний сигнал. Датчик будь-якої периметральної системи реагує на появу порушника в зоні охорони або певні дії порушника. Вимірювання неелектричних величин - не легке завдання і при цьому датчики повинні забезпечувати високу надійність і достовірність контролю. Сигнали датчика аналізуються електронним блоком (аналізатором або процесором), який, у свою чергу, генерує сигнал тривоги при перевищенні заданого порогового рівня активності в зоні, що охороняється. Будь-яка периметральна система охорони повинна від-



повідати певному набору критеріїв, виходячи з яких будується система. Очевидно, що периметральна охоронна система повинна володіти максимально високою чутливістю, щоб виявити навіть досвідченого порушника. В той же час ця система повинна забезпечувати по можливості низьку вірогідність помилкових спрацьовувань. Сьогодні на ринку ТСО представлена велика різноманітність приладів різних виробників, заснованих на різних принципах дії і використовуваних для вирішення різноманітних тактичних завдань.

До початку 90-х років створенням ТСО займалося обмежене коло спеціалізованих державних підприємств військово-промислового комплексу СРСР. В середині 90-х років на ринок ТСО хлинув потік імпоротної техніки через комерційні структури, які різними шляхами просували на ринок продукцію відомих і невідомих зарубіжних фірм із Західної Європи, США, Канади, Ізраїлю та Росії. В основному це ТСО для захисту приміщень – датчики, контрольні панелі. Постачальників високонадійної периметрової техніки опинилося небагато.

Дослідження систем охорони периметру показало, що вибір типу системи повністю залежить від поставленої задачі та структури рельєфу периметру який необхідно охороняти. Аналіз якісних показників найрозповсюдженіших систем довів нам, що досі домінантне місце займають радіопроменеві системи, які мають такі переваги як: висока імовірність правильного визначення порушника (0.98), мала імовірність невірною спрацьовування під дією завад різного характеру (сніг, дощ, туман, дрібні тварини, температура, сонячне світло), не складне налаштування системи. Основним недоліком є необхідність прямої видимості між приймачем та передавачем, що певною мірою обмежує їх використання на деяких об'єктах. В результаті вивчення принципів роботи і побудови основних елементів радіопроменевих сповіщувачів зрозуміло, що в майбутньому електронні блоки будуть вдосконалюватися адже, більшість мікроелектронних елементів складають мікропроцесори. Детально розглянутий антенний модуль в цих сповіщувачах, може бути виконаний за допомогою мікросмужкової антенної решітки. Ця антена за результатами розрахунків хоч і має не високий ККД (53%), проте широко використовується виробниками, завдяки своїм малим масогабаритним показникам.

УДК 621.396 (075.8)

## **РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСТУПУ ДО МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ ПО СУПУТНИКОВИХ КАНАЛАХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ**

С.А.Михайлов, д.т.н., професор  
А.И.Коваль, курсант  
Одеська національна морська академія

Сучасні організації, зокрема морські, характеризуються використанням великих об'ємів різної інформації, в основному електронної і телекомунікацій-

ної, яка проходить через них щодня. Тому важливо мати високоякісний вихід на комутаційні вузли, які забезпечують вихід на всі важливі комунікаційні лінії. Якість наземних ліній в регіонах залишає бажати кращого, оптимальним рішенням цього питання є застосування систем супутникового зв'язку.

Зараз супутникові системи зв'язку для організації доступу до мережі Інтернет в Україні використовуються у незначних обсягах. Декілька спільних підприємств і фірм ведуть роботи по розгортанню в Україні мереж відомчого і ділового супутникового зв'язку на основі малих станцій. На цей час у мережах зв'язку України різного призначення працюють приблизно до 700 малих станцій типу VSAT. Укладено ряд угод про використання на Україні супутникового сегменту для доступу у мережі Інтернет.

По принципу організації мережі доступу, в тому числі високошвидкісного, відносяться до фіксованої супутникової служби. У якості основи для земного сегменту у цій службі за останні роки все найбільше поширення знаходять технології VSAT. В Україні малі станції супутникового зв'язку можна використовувати як центральні при організації телефонних мереж і мереж передачі даних у сільській місцевості й у важкодоступних і віддалених районах.

Що стосується наземного устаткування, то найбільше поширення одержали одно дзеркальні параболічні антени. Кожна з них характеризується коефіцієнтом підсилення. Він, визначаючи енергетичну ефективність антени, залежить від площі, якості антени і точності її наведення на супутник.

Розглянуті два варіанти побудови та проектування супутникової радіолінії для забезпечення доступу до Інтернет, це двосторонні супутниковий Інтернет при якому запит і відповідь ідуть по супутниковим каналам та односторонній супутниковий Інтернет з використанням наземних ліній зв'язку. Проведено розрахунок основних параметрів абонентських станцій та порівняння запропонованих варіантів техніко-економічних показників.

Можна відзначити також що підчас проектування системи супутникового Інтернету продорова телефонна мережа використовується як допоміжна.

Завдяки простоті конструкції така система не вимагає постійного обслуговування і підключається безпосередньо до термінального устаткування користувача виконуючи роль безпроводного модему. Супутникові системи зв'язку на базі технологій VSAT мають великі риночні перспективи завдяки своїм технічним можливостям інтеграції з високошвидкісними наземними мережами і економічній реалізації багатьох Інтернет-проектів.

Проектування радіолінії проводилося на основі земної станції типу VSAT. Було проведено аналітичний огляд сучасних літературних джерел в яких розглядається дана тематика. Визначено перспективи розвитку сучасних супутникових систем зв'язку. Проведено аналіз існуючих систем супутникового зв'язку, які базуються на різних супутникових системах, різних принципах і мають різні функціональні застосування. Сучасні методи передачі інформації з використанням супутникових систем зв'язку забезпечують: високу пропускну спроможність, необмеженість в просторі, високу якість і надійність каналів зв'язку. Для вибраних варіантів проведено розрахунок енергетики супутникової мережі VSAT, використовуючи супутник Sirius 4.

Проведений аналіз техніко-економічних показників проєктованих систем дозволяє зробити висновок про те, що хоча система, що забезпечує односторонній супутниковий Інтернет є відносно дешевою, для використання такої системи необхідні провідні або наземні безпроводні лінії зв'язку, що є не завжди доступні. Система що забезпечує двохсторонній доступ до мережі Інтернет є незалежною від наземних систем що дає можливість отримання повноцінного доступу незалежно від місця знаходження, але платою за це є відносно велика вартість. Тому з двох запропонованих варіантів потрібно вибирати систему яка б змогла задовольнити поставлені вимоги.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мельник А. М., Банкет В. Л., Интернет из поднебесья // Сети и телекоммуникации. – 2003. – № 5.
2. Банкет В. Л., Мельник А. М. Телекоммуникационные сети VSAT // Сети и телекоммуникации. – 2001. – № 3 (17).
3. Радиосистемы передачи информации: Учебное пособие для вузов / В.А. Васин, В.В. Калмыков, Ю.Н. Себекин, А.И. Сенин, И.Б. Федоров; под. ред. И.Б. Федоров, В.В. Калмыков. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 472 с.
4. Бобров И.Н., Макаров А.А. Национальная спутниковая система связи и вещания Украины. Состояние, проблемы и перспективы: Праці УНДІРТ, 2006, № 3 (47)
5. Мельник А. М. Оборудование земных станций сетей VSAT // Труды УНИИРТ. – 2002. – № 3.
6. Банкет В.Л. Эффективные методы модуляции и кодирования в спутниковых системах с МДЧР // Электросвязь. – 1988. - №5. – С.9-13
7. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. - 2-е изд., испр.: Пер. с англ. – М.: «Вильямс», 2003. – 1104 с.
8. Банкет В.Л., Дорофеев В.М. Цифровые методы в спутниковой связи. – М.: Радио и связь, 1988. – 240 с.
9. Справочник по спутниковой связи и вещанию. Под редакцией Л. А. Кантора: Радио и связь, 1983. – 232 с.

УДК 341.225:656.610.8+656.61.08

## ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ В СТРУКТУРЕ РЕЧНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЛУЖБЫ

С.А. Михайлов, д.т.н., профессор

Е.А. Авраменко, аспирант

Одесская национальная морская академия

Речные информационные службы (РИС) – это концепция согласованных информационных служб, призванных обеспечивать управления движением судов и перевозками в системе внутреннего судоходства, включая стыковку с другими видами перевозок. РИС собирают, обрабатывают, оценивают и распространяют информацию о судоходных путях, движение судов и перевозках.

РИС призваны способствовать безопасному и эффективному процессу перевозок и нацелены на то, чтобы использовать внутренние водные пути в максимально возможной степени.

РИС включает в себя устройства сопряжения с другими видами перевозок по морю, автомобильными и железными дорогами. Реки в контексте РИС означают все виды внутренних водных путей, в том числе каналы, озера и порты. РИС является также характерным термином для всех индивидуальных информационных служб, призванных обеспечивать внутреннее судоходство в согласованном порядке.

Для целей РИС служат современные речные информационные системы, которые состоят из одной или более согласованных систем на основе информационных технологий – это совокупность человеческих ресурсов, аппаратного и программного обеспечения, средств связи и правил, обеспечивающих выполнение задачи обработки информации.

Определен также состав электронной аппаратуры, которой должны быть оборудованы суда, пользующиеся услугами РИС. Так, в зависимости от уровня имеющейся информации и от требований со стороны Компетентного органа, суда (за исключением прогулочных судов) рекомендуется постепенно оборудовать:

- а) радиоаппаратурой для одновременного приема радиосообщений о внутреннем судоходстве на двух каналах ОВЧ (судно-судно и судно-берег);
- б) РЛС для получения представления о движении судов других судов в ближайшем окружении;
- в) ПК с модемом и средствами мобильной связи (ГНСС) для приема электронной почты и Интернета, для электронных сообщений и для изображения электронных навигационных карт (ЭНК);
- г) автоматической идентификационной системой (АИС) для передачи и получения идентификационных данных о судне и грузе;
- д) электронной навигационной картой (ЭНК)
  - в информационной режиме;
  - в навигационном режиме с радиолокационным/АИС-наложением.

В связи со спецификой речных путей, из выше приведенного списка рекомендованной аппаратуры, особое место занимает автоматическая идентификационная система (АИС ВС)

АИС ВС (Автоматическая идентификационная система для внутреннего судоходства) представляет собой один из ключевых видов технологии РИС для автоматического обмена и идентификационными и навигационными данными между судами, а также между судами и береговыми установками.

АИС ВС представляет собой систему радиотрансляции данных, которая обеспечивает обмен судовыми статическими, динамическими и связанными с рейсом данными между оборудованными этой системой судами, а так же судами и береговыми станциями.

Содержание информации АИС ВС в основной совпадает с содержанием информации морской АИС, обеспечивая в тоже время дополнительную информацию, характерную для внутренних водных путей.

Благодаря общему содержанию информации, АИС ВС и морская АИС совместимы.

Из-за стесненности речных путей некоторые данные, передаваемые системой АИС ВС имеют гораздо большее значение, чем для судов, находящихся в открытом море. Так, в блоке статической информации особую важность имеет передача координат места расположения антенны судовой позиционной системы.

В блоке динамической информации это: координаты судна с указанием их точности (крайне желательно использование для этой цели системы DGPS).

Одним из главных достоинств системы АИС является то, что она работает практически в режиме реального времени. Причем интервал передачи данных, характеризующих движение судна (блок динамической информации) зависит от параметров движения судна (см. ниже Таблицу).

Все это значительно уменьшает время обнаружения маневра цели. По данным исследований, проведенными специалистами, среднее время на выявление маневра судна по РЛС/САРП составляет 1 мин 25с, а по АИС - 20с!

В стесненных речных условиях, также повышается значение коротких сообщений о безопасности (длительностью 121 символ).

Одним из важных достоинств АИС ВС, что она позволяет сопровождать цели и получать их элементы движения при близком нахождении цели от берега и при движении в узком канале.

АИС ВС исключает возможность «обмена объектами» при близком нахождении целей друг от друга. Все выше изложенное показывает, что АИС в системе РИС является одним из важных инструментов, позволяющим успешно выполнять поставленные перед РИС задачи.

Для морских судов, их оснащения АИС обязательно, согласно Конвенции СОЛАС. Так в Главе 5 Конвенции СОЛАС, утвержденной на 73 сессии Комитета по безопасности на море ИМО (вступила в действие 01.07.2002) все международные рейсы, грузовые суда валовой вместимостью от 300 рег.т и более; каботажные суда вместимостью не ниже 500 рег.т и пассажирские суда, не зависимо от их размеров, должны быть оборудованы универсальными транспондерами АИС.

Подобных документов, определяющих требования по оснащению судов, работающих на европейских внутренних водных путях, АИС ВС нет. И только в Австрии существует требование об оснащении судов АИС ВС. По этому, для получения полной выгоды от использования АИС ВС в целях РИС, крайне необходимо вести обязательные требования об оснащении судов АИС ВС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ляшенко А.С. Речная информационная служба на внутренних водных путях Украины. - Матеріали 14-ої науково-практичної конференції "Практичні проблеми розвитку радіозв'язку і радіонавігації у ГМССБ, системах АІС, СУДС, РІС". Одеса: ОНМА. – 2013, с. 17-21.

2. Голиков В.В., Репетей В.Д. Национальная морская система поиска и спасения. – Одеса: ОНМА. – 2013. – 220 с.

3.Голиков В.В., Репетей В.Д. Национальная морская система поиска и спасения. – Одесса: ОНМА. – 2013. – 220 с.

4.Конвенция СОЛАС Глава 5 ( Лондон: ИМО,2002)

5.Руководящие принципы и рекомендации для речных информационных служб: (приложение к Резолюции 73 ЕЭК от 14.10.2011 г.)

УДК 621.396.327

## ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СУДНОВОЇ ОХОРОННОЇ РЛС МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ХВИЛЬ

В.В. Сергеев, к.т.н., доцент

Г.Ю. Писарев, курсант

Одеська національна морська академія

Інформаційне забезпечення охорони морських суден від піратів та інших зловмисників може здійснюватися як штатними навігаційними РЛС, так і спеціалізованими охоронними РЛС. Разом із тепловізорами та відеокамерами такі РЛС утворюють високоефективні охоронні комплекси [ 1 ].

Задля створення спеціалізованих охоронних РЛС достатньо привабливим й перспективним є міліметровий діапазон хвиль, який дає змогу при обмеженій апертурі антени забезпечити високу кутову роздільну здатність та прихованість від засобів перехоплення радіосигналів [ 2 ].

Для виконання свої функцій охоронна РЛС повинна мати необхідний енергетичний потенціал, під яким розуміється відношення енергії одиночного зондувального сигналу  $E_i$  до порогової енергії  $E_{пор}$  приймача станції. При цьому заданими або відомими вважаються: ефективна площа антени РЛС  $A_{ef}$ , довжина хвилі РЛС  $\lambda$ , характеристики виявлення сигналу із заданими ймовірностями правильного виявлення та фальшивої тривоги  $D$  та  $F$ .

Оцінка енергетичного потенціалу РЛС міліметрового діапазону хвиль може виконуватися на підставі основного рівняння радіолокації:

$$E_{пр} = \frac{E_i \cdot G \cdot A_{ef} \cdot \sigma_{ц} \cdot \lambda^2 \cdot L_{вт}}{(4\pi)^2 \cdot r^4}, \quad (1)$$

де  $E_i$  – енергія в імпульсі зондувального радіолокаційного сигналу;

$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A_{ef}$  – коефіцієнт підсилення антени;

$\sigma_{ц}$  – ефективна поверхня відбиття (ЕПВ) цілі;

$\lambda$  – довжина хвилі;

$r$  – відстань до цілі;

$A_{ef}$  – ефективна площа антени;

$L_{вт}$  – коефіцієнт втрат енергії у передавальному, приймальному та індикаторному трактах РЛС.

Вважаючи, що енергія відбитого від цілі сигналу дорівнює пороговому значенню, тобто  $E_{np} = E_{пор}$ , вирішуємо рівняння (1) та отримуємо співвідношення для розрахунку енергетичного потенціалу:

$$\frac{E_i}{E_{пор}} = r^4 \cdot \frac{(4\pi)^2}{A_{эф} \cdot G \cdot \sigma_{ц} \cdot L_{вт}} \quad (2)$$

При умові досягнення максимальної дальності дії РЛС  $r = r_{макс}$  необхідно забезпечення найбільшого значення енергетичного потенціалу суднової охоронної РЛС. Значення  $r_{макс}$  звичайно не перевищує дальності прямого бачення суднової РЛС  $r_{нб}$ , яка у свою чергу визначається відомим співвідношенням

$$r_{нб} = 2,4(\sqrt{h_{РЛС}} + \sqrt{h_{ц}}), \text{ морських миль (м.м.)} \quad (3)$$

Тут  $h_{РЛС}$  – висота підйому антени РЛС над рівнем моря, м;

$h_{ц}$  – висота об'єкта спостереження (цілі) над рівнем моря, м.

Розрахунки за формулою (2) показують, що при розташуванні антени охоронної РЛС мм діапазону ( $\lambda = 8$  мм) на висоті  $h_{РЛС} = 15$  м та значенні висоти об'єкта спостереження (цілі) над рівнем моря  $h_{ц} = 1,5$  м (швидкісний катер) забезпечується дальність прямого бачення  $r_{нб} = 12$  м.м. Для забезпечення виявлення такої цілі з ЕПВ  $\sigma_{ц} = 10$  м<sup>2</sup> на вказаній дальності найбільше значення енергетичного потенціалу суднової охоронної РЛС повинно складати не менше 110 дБ (при ефективній площі антени  $A_{эф} = 1$  м<sup>2</sup> та практичному значенні коефіцієнта втрат  $L_{вт} = 10$  дБ).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Защита акваторий. Морской бизнес Северо-Запада, № 8, сентябрь, 2007 г. ([www.mbsz.ru](http://www.mbsz.ru)).
2. Навигационная РЛС миллиметрового диапазона МР-2ПВ (шифр – Балтика М) ([www.mkis.su](http://www.mkis.su)).

УДК 681.518.5

### КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛОВ

В.А. Завадский, к.т.н., профессор

О.И. Дума, аспирант

И.И. Мустипан, курсант

Одесская национальная морская академия

Достоверный и информативный анализ сигналов является актуальной научной задачей. Ныне она решается применением довольно дорогих цифровых измерительных приборов, прежде всего генераторов сигналов, осциллографов и анализаторов спектра. Другим важным направлением изучения сигналов является их математическое моделирование и анализ с помощью систем

компьютерной математики (СКМ). Долгое время эти направления развивались отдельно.

В данной работе рассматривается возможность обработки реальных сигналов, получаемых при исследовании различных устройств, с помощью численных методов СКМ MATLAB. Под реальными сигналами понимаются сигналы, полученные с измерительных приборов.

Исследования, проведенные в данной работе, показали, что к числу наиболее мощных СКМ, ориентированных на численные методы вычислений, относится матричная система MATLAB. В ней большое внимание уделяется обработке сигналов, что подтверждается наличием нескольких пакетов расширения по обработке сигналов (Signal Processing Toolbox – пакет по обработке сигналов, Wavelet Toolbox – пакет по вейвлет-анализу, а также пакет имитационного блочного моделирования Simulink)[1]. Имеющиеся в системе и в данных пакетах методы и алгоритмы позволяют существенно улучшить процесс обработки сигналов и расширить возможности современных измерительных приборов. Так, в MATLAB спектральный анализ сигналов выполняется не только стандартным методом быстрого преобразования Фурье, но и десятками других методов, с большим числом окон. Есть и принципиально новые возможности, которых пока нет в измерительных приборах. К ним следует отнести короткое оконное преобразование Фурье, вейвлет-анализ, и построение спектров в линейном масштабе[2].

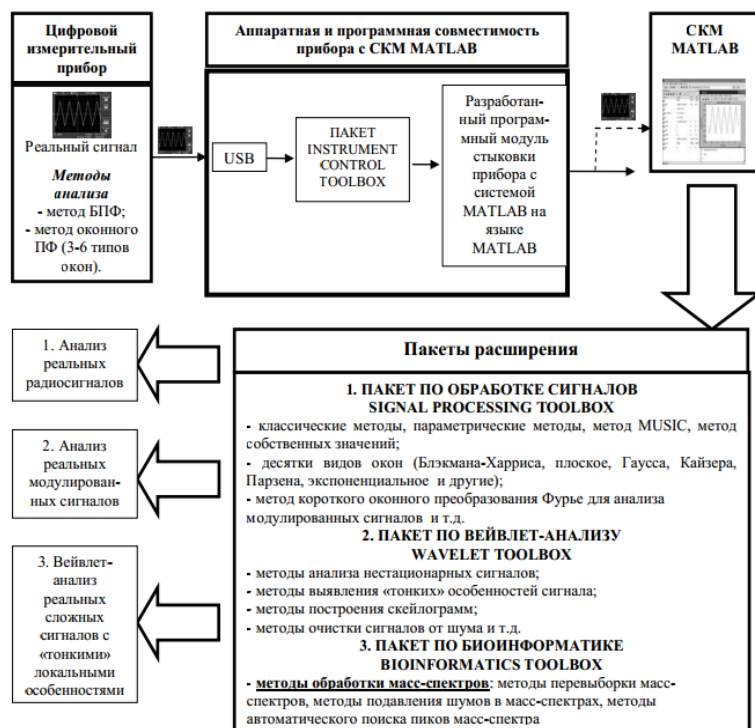


Рисунок 1 – Методика обработки реальных сигналов средствами СКМ MATLAB

Интеграция измерительных приборов с системами компьютерной математики, позволяющая существенно расширить возможности измерительных приборов в обработке реальных сигналов, является новым направлением в радиотехнике и измерительной технике, в значительной мере определяющим пути дальнейшего развития современных цифровых измерительных приборов.



Рассмотрены особенности спектрального анализа для различных видов сигналов, проведен анализ современных методов спектрального анализа.

Проведен анализ и классификация современных серийных осциллографов и анализаторов спектра как основных измерительных приборов по обработке реальных сигналов. Выявлены недостатки, заключающиеся в недостаточном количестве методов для проведения спектрального анализа сигналов[3].

Проведен анализ современных методов обработки сигналов, который показал, что в настоящее время существуют методы, значительно повышающие информативность получаемых результатов

Проведено исследование системы компьютерной математики MATLAB, подтверждающее наличие в ней всех современных методов обработки и анализа сигналов. К данным методам относятся: метод кратковременного оконного преобразования Фурье, методы вейвлет-анализа сигналов (непрерывное вейвлет-преобразование).

### ЛИТЕРАТУРА

- 1.Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. М.: Техносфера, 2006.
- 2.Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. 2-е изд. СПб.: ПИТЕР, 2006.
- 3.Солонина А. И., Улахович Д. А., Арбузов С. М., Соловьева Е. Б. Основы цифровой обработки сигналов. 2-е изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.

УДК 681.518.5

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ

В.А. Завадский, к.т.н., профессор

Д.А. Захарченко, аспирант

Одесская национальная морская академия

Возрастающая интенсивность судоходства, увеличение грузоперевозок, интенсификация трафика требуют активного внедрения средств автоматизации и вычислительной техники в процессы судовождения. В целях повышения безопасности морского судоходства процесс выполнения операций судовождения автоматизируется. В настоящее время технической основой автоматизации операций судовождения стали электронные вычислительные машины (ЭВМ), а также микропроцессоры и микро ЭВМ, на базе которых строятся современные навигационные автоматизированные комплексы. Они берут на себя функции обработки и хранения информации, прогнозирования развития ситуаций, управления движением и т.д., включая выбор мер, повышающих эффективность решаемых задач. В настоящее время задача идентификации встречных объектов на пути следования судов является интеллектуальной.

Для повышения точности и непрерывности определения координат подвижных объектов с помощью аппаратуры средне орбитальных спутниковых радионавигационных систем (СРНС).

Известен способ прямой дифференциальной коррекции координат, реализованный в локальных дифференциальных системах и предполагающий использование одной опорной станции с точно известными координатами. На опорной станции с определенной периодичностью выполняются вычисления ее координат по сигналам от видимых навигационных спутников и сравнение вычисленных координат с точными координатами данной станции. Вычисленные погрешности определения координат передаются пользователю, который находится в пределах действия этой опорной станции [1]. Недостатком локальных дифференциальных систем, использующих способ прямой дифференциальной коррекции координат, является небольшая дальность действия, составляющая несколько десятков километров.

Наиболее близким к решению поставленной задачи является способ передачи широкозонных дифференциальных поправок, реализованный в широкозонных дифференциальных системах (ШДС) и основанный на оперативной обработке измерений от сети опорных станций. На каждой опорной станции проводятся текущие измерения дальностей до каждого из видимых навигационных спутников и соответствующих погрешностей дальномерных измерений на двух когерентно связанных частотах. Измерения от каждой станции поступают на главную станцию ШДС, на которой формируется вектор поправок дальномерных измерений для каждого из видимых навигационных спутников, находящихся в данный момент времени над зоной действия ШДС.

Вектор поправок передается всем пользователям ШДС и используется в навигационном приемнике пользователя для уточнения текущих определений координат[2].

Способ-прототип отличается невысокой устойчивостью двухчастотного режима измерений ионосферной дальномерной погрешности в условиях геомагнитных возмущений и внезапных ионосферных возмущений [3,4].

В настоящее время функционирует всемирная сеть, включающая более двух тысяч стационарных пунктов, оборудованных одним или несколькими типами двухчастотных навигационных приемников СРНС. Координаты этих пунктов известны с высокой точностью и на каждом из них производятся круглосуточные измерения дальностей до видимых НС на обеих рабочих частотах СРНС [5]. До настоящего времени измерения, полученные на данной всемирной сети, использовались мировой научной общественностью для проведения исследований по вопросам геодинамики, коррекции орбит спутников и наблюдений за ионосферой.

Для решения поставленной задачи пункты указанной сети предлагается использовать в качестве опорных станций широкозонных дифференциальных систем СРНС, использующих режим прямой коррекции координат.

Преимущества способа прямой дифференциальной коррекции погрешностей определения координат пользователей среднеорбитальных спутниковых радионавигационных систем заключаются в следующем:

Повышенная устойчивость работы широкозонной дифференциальной системы в условиях геомагнитных возмущений, поскольку не используется двухчастотный режим определения ионосферных дальномерных погрешностей, уязвимый к геомагнитным возмущениям.

Используется готовая инфраструктура - всемирная сеть опорных станций, оборудованных приемниками СРНС.

Для реализации предлагаемого способа требуется незначительный объем передаваемой информации: по три поправки к координатам и к скоростям вместо 16 поправок к измеренным радионавигационным параметрам (псевдодальностям до видимых НС). Это разгрузит каналы передачи данных и повысит быстродействие системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Харисов В.Н., Перов А.И., Болдин В.А. и др. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. М.: ИПРЖР, 1998 г.

2. Kaplan E.D. Understanding GPS: Principles and applications // Artech House. 1996.

Прототип.

3. FAA/William J. Hughes Technical Center, NSTB/WAAS T&E Team, "Wide-Area Augmentation System Performance Analysis Report": Reports 6-8. <ftp://ftp.nstb.tc/faq.gov/pub/archive/REPORTS/>.

4. Seebany D.B., Todd W., Juan B., Per E. Can WAAS availability be inferred from geomagnetic data? An analysis. // Proceedings of the Ionospheric Effects Symposium, 3-5 May 2005. - Alexandria, Virginia,

5. Jamason P., Bock Y., Fang P., Gilmore B., Malveaux D., Prawirodirdjo L., Scharber M. SOPAC Web site (<http://sopac.ucsd.edu>) // GPS Solution. - 2004. - 8: 272-277 DOI 10.1007/s10291-004-0118-2.

УДК 681.518.5

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ БАЗЫ СИСТЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ

В.А. Завадский, к.т.н., профессор

О.И. Дума, аспирант

Одесская национальная морская академия

Целью данной работы стало изучение микроконтроллерной базы, систем идентификации, сравнить общие характеристики, применение и архитектуру.

Сравнение микроконтроллеров INTEL MCS-296 И FUJITSU MB90

Данные микроконтроллеры имеют сходные области применения, однако в Fujitsu упор делается на ускорение вычислений, а в Intel — на стабильность работы устройства.

Максимальная частота работы выше у микроконтроллеров Intel 296 – 50 МГц.

Fujitsu имеет больший объем памяти, чем Intel: 64 Мб (по сравнению с 6 Мб у 80296SA), в свою очередь микроконтроллеры Intel имеют гораздо больше ПОН[1].

В Fujitsu максимальная скорость выполнения команды — около 68 нс при частоте 4 МГц, его производительность — 3,6 миллиона операций. Это меньше, чем у микроконтроллера Intel, выполняющего максимум 16 миллионов простейших операций сложения при частоте 50 МГц.

Микроконтроллеры MCS-296 имеют более сложную архитектуру и более высокую скорость передачи данных за счет наличия двух шин — адреса и данных, в Fujitsu лишь одна внутренняя шина (см. рис.1) [2].

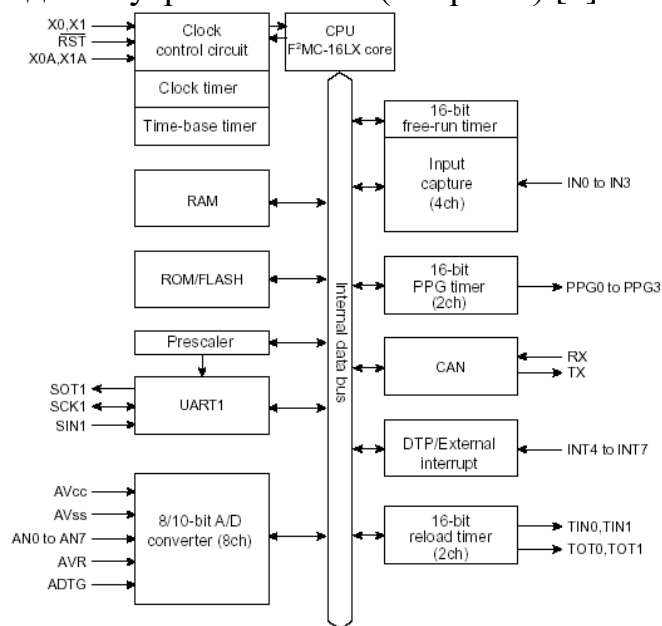


Рисунок 1 – Внутренняя архитектура микроконтроллеров серии MB90385

В Fujitsu предусмотрено больше способов адресации — 23 по сравнению с 6 в Intel. Это позволяет найти наиболее подходящий способ адресации в зависимости от поставленной задачи.

Fujitsu имеет больше возможностей для работы с внешними устройствами, чем Intel (имеет больше портов ввода/вывода, а также интерфейсы CAN, DTP, I2C).

Микроконтроллеры Intel 296 не имеют встроенного АЦП, в то время как Fujitsu имеют производительный встроенный преобразователь (на обработку тратится 3 мкс)[5].

Микроконтроллеры Intel выпускаются в различных конфигурациях устойчивости к температурам, поэтому их можно применять в более широком температурном диапазоне.

Среднее энергопотребление у MB90 ниже, чем у MCS-296 (40 мА и 150 мА), но вторые имеют режим POWER DOWN с потреблением 0,1 мкА, в то время как соответствующий режим Fujitsu имеет потребление 1 мкА.

Fujitsu имеют более мощную и функциональную систему таймеров, чем Intel.

Итог: при сравнении оказалось, что, в общем, микроконтроллеры Intel 296 обладают большей производительностью, чем Fujitsu MB90. Кроме того, серия MCS-296 имеет более низкую стоимость. Поэтому использование микроконтроллеров Intel 296 предпочтительнее. Однако, контроллеры Fujitsu в некоторых случаях удобнее в использовании за счет большого количества способов адресации, памяти и встроенного АЦП.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Fujitsu Semiconductor Datasheet «MB90470 F2MC-16LX Microcontrollers hardware manual»
2. 80296SA Microcontrollers User's Manual
3. «Практическое руководство по применению 16-разрядных микроконтроллеров Intel MCS-196/296 во встроенных системах управления» Козаченко В.Ф. М.:ЭКОМ, 1997. -500с.,
4. <http://www.ce.cctpu.edu.ru/msclub/LITERATU/gusev/>
5. <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/publ/micros/phuton6.htm>

УДК 681.518.5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ «НАПРЯЖЕНИЕ – ЧАСТОТА»

С.Н. Дранчук, к.т.н., доцент  
Д.С.Салабутина, курсант  
Одесская национальная морская академия

Очень часто измерительный датчик автоматической системы управления располагается на значительном расстоянии от управляющей системы, что вызывает затруднения при передаче аналогового сигнала от датчика к управляющей системе. Одним из способов передачи сигнала датчика на значительные расстояния является преобразование его в частоту с последующим измерением частоты.

Этот метод обладает рядом преимуществ: высокой помехозащищенностью, возможностью совмещения канала передачи данных и канала питания, что позволяет использовать только два провода для подключения преобразователя «напряжение–частота», возможностью интегрирования нежелательных колебаний измерительной системы и т.п. Существует ряд ИМС, предназначенных для этой цели [1,2].

В работе проанализированы параметры и характеристики синхронных преобразователей «напряжение–частота» на ИМС типа AD652, ADVFC32 и AD7741 и разработана схема прецизионного преобразователя «напряжение–частота» на основе ИМС типа AD7741 фирмы Analog Device [3], в котором ка-

нал передачи данных совмещен с каналом питания преобразователя и датчика (рис.1).

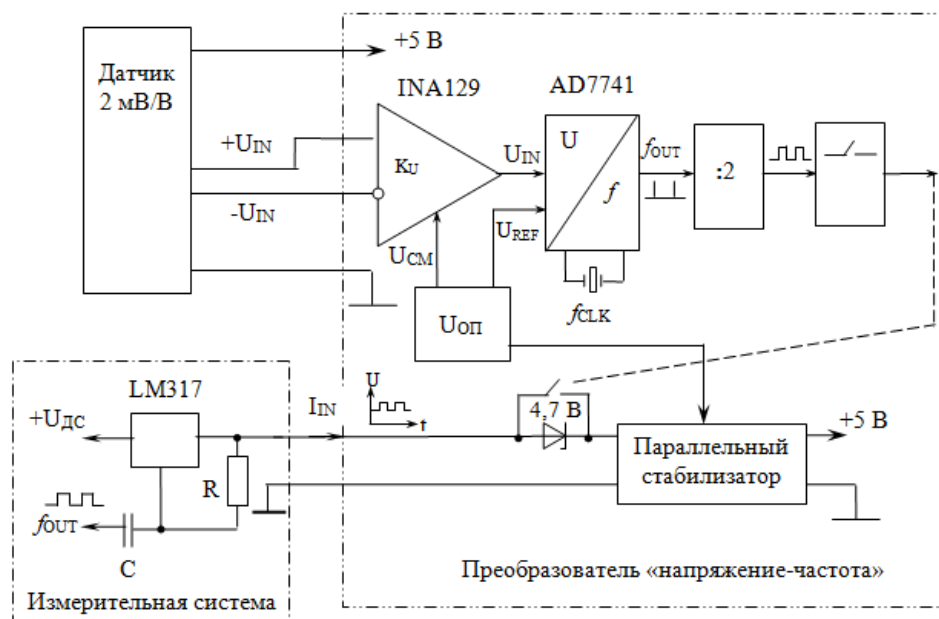


Рисунок 1 – Структурная схема прецизионного преобразователя «напряжение–частота»

Экспериментальное измерение параметров разработанного преобразователя «напряжение – частота» и его температурной стабильности в интервале температур  $(0...60)^{\circ}\text{C}$  показало, что нелинейность передаточной характеристики разработанного преобразователя не превышает 0,009 % и возрастает немонотонно с температурой в среднем на 150 ppm/K. При этом разброс для 5 экземпляров не превышал  $\pm 0,2$  %.

Коэффициент передачи данного преобразователя можно изменять от 1000 до 5000 Гц/мВ. Значение коэффициента передачи уменьшается с температурой в среднем на 1,5 ppm/K. При этом разброс этого параметра для 5 экземпляров не превышал  $\pm 0,4$  %.

Значение начальной частоты преобразования можно изменять от 2000 до 7000 Гц. Значение начальной частоты увеличивается практически линейно с температурой в среднем на 35 ppm/K. При этом разброс для 5 экземпляров не превышал  $\pm 2$  %.

Диапазон изменения частоты можно изменять от 10000 до 15000 Гц. Значение диапазона изменения частоты монотонно уменьшалось с температурой в среднем на 1,5 ppm/K. При этом разброс для 5 экземпляров не превышал  $\pm 0,5$  %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дерябин В. Преобразователи напряжение частота. – Chip News, Инженерная электроника, 2004, №8, с.13–23
2. Bryant J. V/f converters. – World Wide Web Site: [www.analog.com](http://www.analog.com). Application Note AN-361
3. Single and Multichannel, Synchronous Voltage-to-Frequency Converters AD7741/7742. – World Wide Web Site: [www.analog.com](http://www.analog.com). Datasheet.

Матеріали  
науково-методичної конференції

**"Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки"**

10.12.2014 – 11.12.2014

Комп'ютерна верстка *Глазева О.В.*

Підписано до друку 10.02.2015. Формат 60×84/16.  
Обл.-вид. арк. 8,3. Наклад 300. Зам. № И15-02-18.

Одеська національна морська академія  
Свідоцтво ДК № 1292 от 20.03.2003  
65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8  
тел./факс: (0482) 34-14-12  
publish@ma.odessa.ua